Zur Hydrogeologie des Raumes südöstlich von Nürnberg unter besonderer Berücksichtigung der Gradabteilungsblätter 6533 Röthenbach, 6633 Feucht und 6733 Allersberg

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
des Fachbereiches Geowissenschaften
der Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Johann Rietzler
aus Lengenwang/Allgäu

Nürnberg, Juni 1979

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41535722_0040

Zur Hydrogeologie des Raumes südöstlich von Nürnberg unter besonderer Berücksichtigung der Gradabteilungsblätter 6533 Röthenbach, 6633 Feucht und 6733 Allersberg

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
des Fachbereiches Geowissenschaften
der Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Johann Rietzler
aus Lengenwang/Allgäu

Nürnberg, Juni 1979

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

1. Berichterstatter: Prof. Dr. W.-D. Grimm

2. Berichterstatter: Dr. habil. K.-P. Seiler

3. Berichterstatter: Prof. Dr. K. Schmidt

Tag der mündlichen Prüfung: 30. 10. 1979

Seite

1.	Vorwort	1
1.1	Aufgabenstellung	3
1.2	Lage und morphologischer Rahmen	4
1.3	Geologischer Überblick	6
1.4	Tektonischer Überblick	8
1.4.1	Zur Ausbildung wasserwegsamer Klüfte	10
1.4.2	Zum Einfluß der wasserwirksamen Klüfte und Verwerfungen auf die Talformen	13
2.	Methodik	13
2.1	Hydrochemische Analysen	14
2.1.1	Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen	16
2.2	Statistische Auswertung der hydrochemischen Analysen	16
2.2.1	Auswahlverfahren der hydrochemischen Analysen	20
2.3	Grundwasserhydraulische Berechnungsverfahren	21
2.3.1	Bestimmung des k-Wertes im Labor	21
2.3.1.1	Bestimmung des k-Wertes an Sandsteinproben	22
2.3.2	Bestimmung des k-Wertes aus Pumpversuchen	23
2.3.3	Berechnung weiterer hydrologisch wichtiger Kenndaten	24
2.3.3.2	Bestimmung des Speicherkoeffizienten nach THEIS	25
2.3.3.3	Bestimmung der nutzbaren Porosität n_{eff} von quartären Porengrundwasserleitern	26
2.3.3.4	Bestimmung der einer Mehrbrunnenanlage zuströmenden Grundwassermenge durch die FORCHHEIMER'sche Mehrbrunnenformel	27
2.4	Sedimentologische Auswertung	27

Seite

3.	Gesteinsausbildung, Grundwasserchemie und Grundwasserhydraulik der untersuchten stratigraphischen Einheiten der Trias und des Jura	28
3.1	Mittlerer Keuper	28
3.1.1	Zur vertikalen Differenzierung des Grundwasserchemismus	28
3.1.2	Zur horizontalen Differenzierung des Grundwasserchemismus	34
3.1.2.1	Gesamthärte	34
3.1.2.2	Eisen und Mangen	36
3.1.2.3	Summe Sulfat + Chlorid + Nitrat	36
3.2	Gipskeuper	40
3.2.1	Benker Sandstein	41
3.2.2	Schilfsandstein und Estherienschichten	45
3.2.3	Lehrbergschichten	48
3.3.	Sandsteinkeuper	51
3.3.1	Blasensandstein i.w.S.	53
3.3.2	Burgsandstein	56
3.3.2.1	Unterer Burgsandstein	56
3.3.2.2	Mittlerer Burgsandstein	60
3.3.2.3	Oberer Burgsandstein	64
3.4	Feuerlettensandsteine	66
3.5	Oberer Keuper	68
3.5.1	Rät-Lias-Übergangsschichten	68
3.6	Grundwasserhydraulik der Keupersandsteine	73
3.6.1	Hydraulik der Sandsteine des Mittleren Keupers	73
3.6.1.1	Zum dränbaren Porenhohlraum der Keupersandsteine	74
3.6.1.1.1	Hydrologische Kenndaten	74

		Seit
3.6.1.1.2	Diskussion der Ergebnisse	74
3.6.1.2	Bestimmung hydraulischer Kennwerte der klüftig-porösen Sandsteine des Mittleren Keupers	75
3.6.1.3	Vergleich der Porendurchlässigkeiten zu den Gesamtdurchlässigkeiten	79
3.6.1.4	Zur Grundwasserergiebigkeit der einzelnen stratigraphischen Einheiten	80
3.6.2	Hydraulik der Sandsteine des Oberen Keupers	81
3.7	Jura	81
3.7.1	Lias α_3 - Lias γ	81
3.7.2	Posidonienschichten und Jurensismergel	84
3.7.3	Eisensandstein	85
3.7.4	Malm	87
4.	Quartäre Porengrundwasserleiter	87
4.1	Quartäre fluviatile Terrassenbildungen	87
4.1.1	Das Pleistozän der Pegnitz	87
4.1.1.1	Zur Hydrochemie	90
4.1.1.2	Grundwasserhydraulik	90
4.1.1.3	Bestimmung des nutzbaren Porenvolumens	93
4.1.1.4	Bestimmung der Abstandsgeschwindigkeit	93
4.1.2	Das Pleistozän der Hinteren Schwarzach (Opf.)	93
4.1.2.1	Zur Hydrochemie	95
4.1.2.2	Zur Frage der Uferfiltration	95
4.1.3	Das Pleistozän der Schwarzach (Mfr.) zwischen Burgthann und Schwarzenbruck, der Kleinen Roth, des Hembaches, des Finsterbaches und des Gauchsbaches.	97
4.1.3.1	Zur Hydrochemie	98
4.1.3.2	Zur Frage der Durchlässigkeit	100

Seite

4.2 Quartäre Flugsande 100

4.2.1 Hydrogeologie der pleistozänen "Terrassensande" des Röthenbaches, des Haidelbaches und Ursprung sowie der begrabenen Talrinne der Vorderen Schwarzach (Mfr.) zwischen Schwarzenbruck und Gauchsbachmündung 100

4.2.1.1 Vorkommen und Genese 100

4.2.1.2 Grundwasserchemismus 103

4.2.1.3 Zur Grundwasserhydraulik 104

4.2.1.4 Bestimmung des nutzbaren Hohlraumvolumens im Labor 108

4.2.1.5 Bestimmung des nutzbaren Hohlraumvolumens in der Praxis 108

4.2.1.5.1 Volumetrische Berechnung 108

4.2.1.5.2 Berechnung des nutzbaren Hohlraumvolumens aus der THEIS-JACOB'schen Beziehung 109

4.2.1.6 Berechnung der einem Speicher entnehmbaren Grundwassermengen in Abhängigkeit des Raumes und der Zeit mit Hilfe von Vertikalbrunnenanlagen 111

4.2.1.7 Derzeitige ungenutzte Grundwasserspeicher im Bereich der Flugsande 111

5. Grundwasserstockwerke 113

5.1 Grundwasserstockwerk des Benker Sandsteins 113

5.2 Grundwasserstockwerk des Schilfsandsteins bis Unterer Burgsandstein 114

5.3 Grundwasserstockwerk des Mittleren und Oberen Burgsandsteins mit dem Quartär 115

5.4 Hangende Grundwasserstockwerke 116

5.4.1 Feuerlettensandsteine 116

5.4.2 Rät-Lias-Übergangsschichten und Lias α_3 - γ 117

5.4.3 Dogger, Malm 117

5.4.4 Quartär der Hinteren Schwarzach (Opf.) 117

6. Grundwasserspiegelschwankungen 117

7. Grundwasserhaushalt 121

7.1. Oberirdischer Abfluß 121

		Seite
7.2	Verdunstung	122
7.3	Unterirdischer Abfluß	124
7.3.1	Grundwasserneubildung im Bereich der Kleinen Roth, des Hembaches, des Finsterbaches	125
7.3.2	Grundwasserneubildung im Bereich des Röthenbaches	130
7.3.3	Grundwasserneubildung im Bereich der Schwarzach (Mfr.)	130
7.3.4	Grundwasserneubildung im Bereich der Rät-Lias-Übergangsschichten und des Unteren Lias	131
7.3.5	Grundwasserneubildung im Mittleren Keuper unter Feuerlettenbeckung	132
7.3.6	Zeitlicher Verlauf der Grundwasserneubildung	133
8.	Einfluß umweltbezogener Schadstoffe auf das Grundwasser	135
9.	Hydrogeochemie des Urans	139
9.1	Zur Genese	139
9.2	Zur Hydrogeochemie	139
10.	Mineralwässer	141
11.	Grundwassernutzung	143
11.1	Nutzung durch Brunnen	143
11.2	Nutzung durch Quellen	145
12.	Zusammenfassung der Ergebnisse	146
13.	Literaturverzeichnis	151
Anhang		162

Anhang

Tafel:
Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen von Sandsteinen des Keupers und Juras

Profilkurzdeutungen

Ergebnis der ausgeführten hydrochemischen Analysen

Anlage 1

Hydrogeologische Profile

Anlage 2a

Grundwasserhöhengleichen des Grundwasserstockwerkes Schilfsandstein bis Unterer Burgsandstein

Anlage 2b

Grundwasserhöhengleiches des obersten grundwasserführenden Schichtgliedes

Anlage 3

Hydrochemische Karte

1. Vorwort

Die vorliegende Arbeit stellt die Fortsetzung der bisherigen hydrogeologischen Aufnahmen im Keuper Mittelfrankens durch die Schule GRIMM und Mitarbeiter dar und wurde im Frühjahr/Sommer 1976 durch meinen sehr verehrten Lehrer, Herrn Prof. Dr. W. D. GRIMM, angeregt. Aufgrund seines steten Interesses am Fortgang der Arbeit und der Vielzahl von Hinweisen bin ich Herrn Prof. GRIMM zu tiefem Dank verpflichtet.
Parallel zu dieser Dissertationsarbeit wurden im gleichen Zeitraum von meinem Kollegen, Herrn Dipl.-Geol. M. DÜMMER, westlich von Nürnberg gleichartige hydrogeologische Aufnahmen ausgeführt.
Herrn Prof. Dr. K. SCHMIDT danke ich für die Bereitstellung eines Arbeitsplatzes. Dies ermöglichte die zahlreichen hydrochemischen Analysen und grundwasserhydraulischen Versuche.
Herrn Dipl.-Phys. R. DITTEL gilt mein besonderer Dank. Ohne seine Mithilfe bei der Bearbeitung der software wäre die statistische Auswertung in der vorliegenden Form nicht denkbar.
Für die Erlaubnis zur Auswertung des in großem Umfang vorhandenen Datenmaterials und das stets freundliche Entgegenkommen der Herren Dr. G. ANDRES, Dr. F. SCHMEING und Dr. R. ULBRICH vom Landesamt für Wasserwirtschaft, München, möchte ich mich herzlichst bedanken.
Den Herren Dipl.-Geol. GAUCKLER und ZIMMERMANN von der Autobahndirektion Nürnberg, die eine Auswertung von rund 200 Baugrundbohrungen ermöglichten, fühle ich mich besonders verpflichtet.
Herrn Dr. K. BERGER vom Bayer. Geol. Landesamt, München, fühle ich mich durch sein freundschaftliches Entgegenkommen in vielen Fragen ebenso verbunden wie Herrn Prof. Dr. F. BIRZER, Universität Erlangen. Für ihre Unterstützung möchte ich Herrn Prof. K. POLL und Herrn Prof. K. HABBE, Universität Erlangen, danken.
Das große und freundliche Entgegenkommen von Herrn Dr.-Ing. H. KNOLL und Herrn Dipl.-Ing. F. ENGELHARDT, Energie- und Wasserversorgung AG Nürnberg (EWAG), war mir eine sehr große Hilfe und gestattete mir die Auswertung grundwasserhydraulischer Problemstellungen.
Das kollegiale Entgegenkommen und die Überlassung von Daten und Proben durch die Herren der Fa. ESSO ERZ GmbH Nürnberg waren mir größte Hilfe.
Von folgenden Ämtern und Institutionen wurden ferner wichtige Unterlagen für die Ausarbeitung zur Verfügung gestellt:

- Landesamt für Landesentwicklung und Umweltfragen, München
- Landesamt für Wasserwirtschaft, München
- Landesamt für Gewässerkunde, München
- Wasserwirtschaftsamt Nürnberg
- Straßenbauamt Nürnberg

- Staatl. Gesundheitsamt Nürnberg
- Wetteramt Nürnberg
- RMD Nürnberg
- Landesgewerbeanstalt Nürnberg und
  Talsperrenneubauamt Nürnberg.

Nicht zuletzt möchte ich mich bei den Stadtwerken Fürth für die Überlassung von umfangreichen Unterlagen bedanken.
Den Ingenieurbüros und Baufirmen, namentlich der Fa. Ochs, Nürnberg, sei für die großzügige Bereitstellung von reichlichem Datenmaterial gedankt.
Schließlich sei allen Einzelpersonen und Kollegen, namentlich Herrn Dr. R. HEROLD, Herrn Dipl.-Geol. W. KIECHLE und Herrn Dr. R. EGGER, für die in vielen kritischen Diskussionen ausgesprochenen Anregungen gedankt.

1.1 Aufgabenstellung

Der mittelfränkische Raum ist ein wasserwirtschaftlich schwierig zu versorgendes Gebiet: Einem dicht besiedelten Wirtschaftsraum stehen Grundwassermengen vorwiegend des Keupers und Quartärs von beschränktem Ausmaß sowie Vorfluter mit z.T. geringem Einzugsgebiet und entsprechend geringer Kapazität zur Verfügung. Ungünstige Klimaverhältnisse tragen mit dazu bei, daß der mittelfränkische Raum als ein Wassermangelgebiet gelten muß.

Für GRIMM & HOFBAUER, KRAUSPE und W. MÜLLER war dies in den Jahren 1966 - 1970 Anlaß für eine Spezialaufnahme der Grundwasserverhältnisse in diesem Gebiet. Die Aufnahme erfaßte die nutzbaren Grundwasservorkommen von insgesamt elf Gradabteilungsblättern und stellt eine Grundlage für die Bilanzierung aller Wässer dar. Diese gleichartigen hydrogeologischen Untersuchungen wurden jedoch uneinheitlich in hydrogeologischen Kartenserien in den Maßstäben 1 : 25 000, 1 : 50 000 und 1 : 100 000 dargestellt. Hierdurch werden ein Überblick und eine genaue Auswertung aller Ergebnisse erschwert.

Nach Anregung von meinem verehrten Lehrer, Herrn Prof. Dr. W.-D. GRIMM, ist es Aufgabe dieser Dissertation, die bisherigen Untersuchungen durch die Spezialaufnahme der drei Gradabteilungsblätter 6533 Röthenbach, 6633 Feucht und 6733 Allersberg zu erweitern.

Ziel der Spezialaufnahme ist:

- die Erfassung von Vorkommen, Quantität und Qualität der Grundwässer, gestützt auf bereits vorhandene oder eigens zu ermittelnde geologische, hydrologische und hydrochemische Daten;

- die grundlegende und einheitliche Darstellung der Ergebnisse in Grundwasserisohypsenkarten, hydrogeologischen und hydrochemischen Karten sowie in Profilserien im Maßstab 1 : 50 000, die die bearbeiteten Gebiete in Rastern bedecken.

Als Vorbild dienten dabei die Darstellungen von KRAUSPE (1970).

1.2 Landschaftlicher Überblick

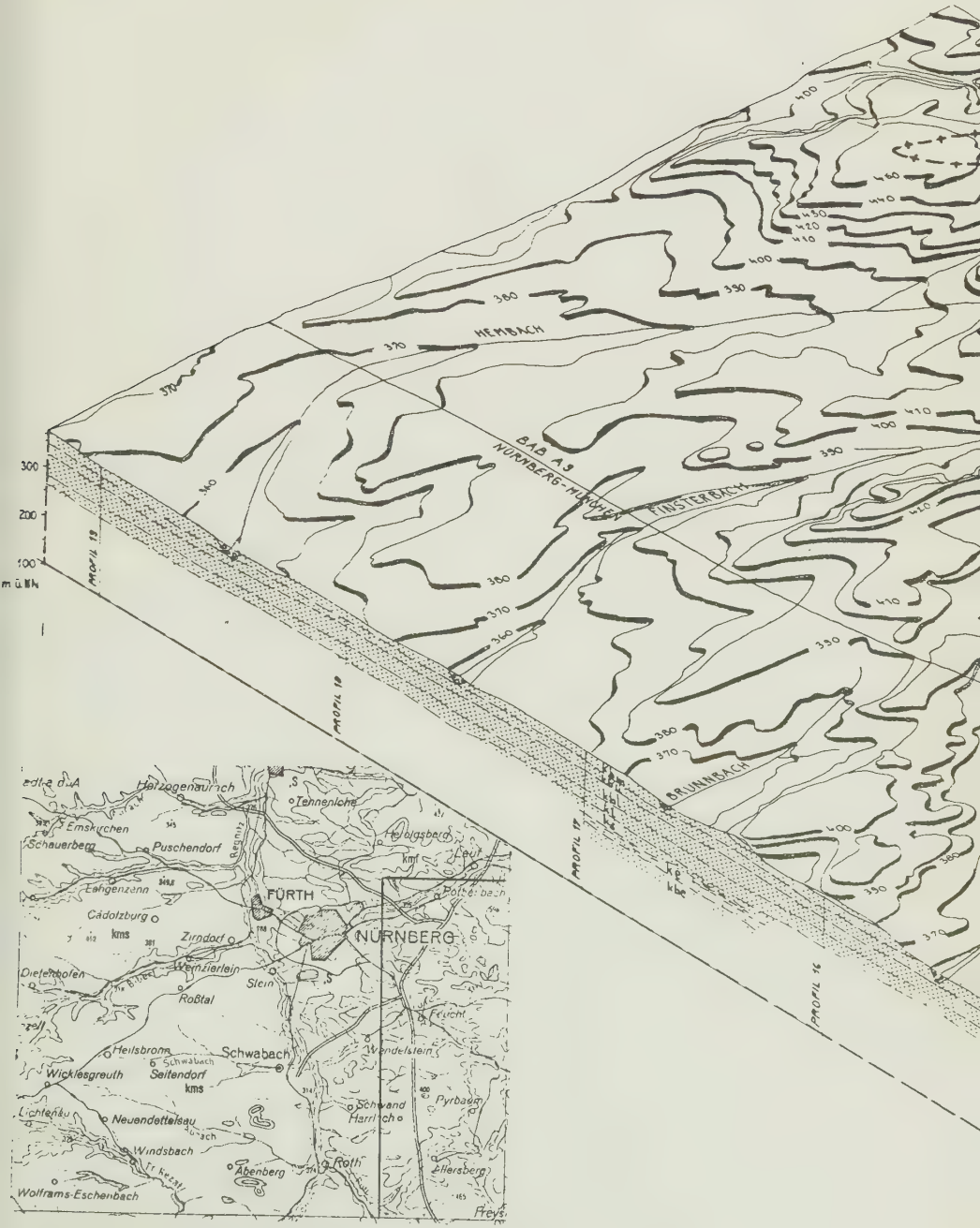
Das Bearbeitungsgebiet befindet sich östlich und südöstlich von Nürnberg im Raum der Gradabteilungsblätter 1 : 25 000 6533 Röthenbach/Pegnitz, 6633 Feucht und 6733 Allersberg. Kennzeichnend sind der Aufstieg zur Fränkischen Alb aus dem Nürnberger Becken heraus sowie die Wirksamkeit unterschiedlicher Flußsysteme:

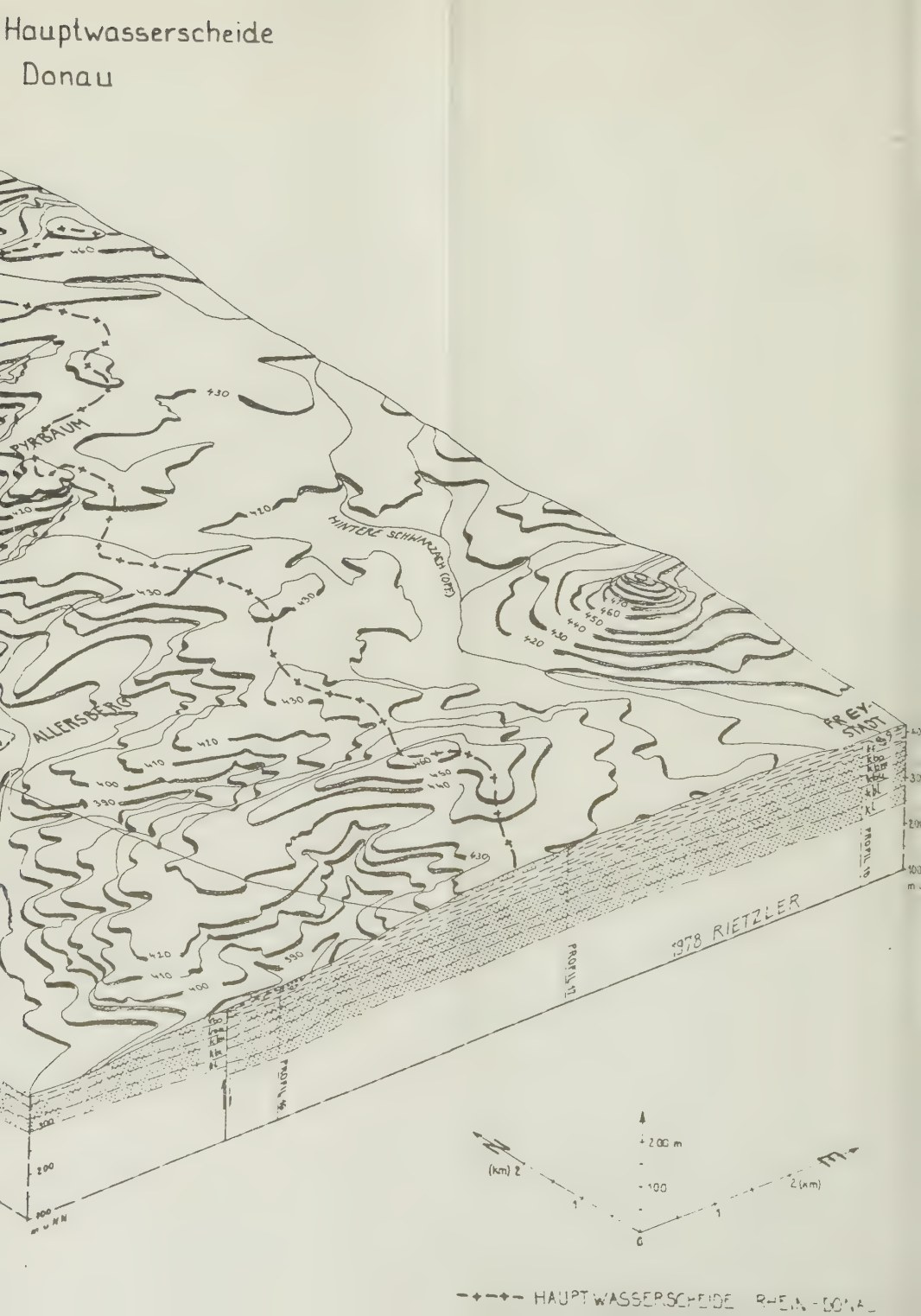
Im südöstlichen Bereich entwässert die Hintere Schwarzach (Opf.) mit einem geringen Flußgefälle von 1,4 °/oo quer durch die Fränkische Alb nach Süden in Richtung zur Donau hin. Dementsprechend bilden sich in ihrem Einzugsgebiet nur sehr flache und sanfte Landschaftsformen heraus. Diesem Flußsystem steht an der Hauptwasserscheide das nach Nordwesten entwässernde Rednitz-Pegnitz-Main-System gegenüber, das ca. 100 m tiefer eingeschnitten ist. Die Folge dieser Erscheinung ist ein derzeit noch in Gang befindlicher Angriff des tieferen Systems auf das Einzugsgebiet des höheren Systems (vgl. Abb. 1). Dieser "Kampf um die Wasserscheide" war Anlaß für mannigfache Untersuchungen, wobei vor allem die grundlegende Arbeit von WAGNER (1923) zu nennen ist.

Deutliche Kennzeichen aller Gewässer (Ausnahme: heutiger Verlauf der Vorderen Schwarzach (Mfr.)) ist deren bis zu 50 m mächtiges, verfülltes Rinnensystem, das tief in die Keuperoberfläche eingeschnitten ist und als Ausdruck mehrerer Ausräumungs- und Schüttungsphasen angesehen werden kann (vgl. RÜCKERT 1933, BIRZER 1936, SPÖCKER 1964 und TILLMANNS 1977).

Pleistozäne Hebungen im Bereich der Fränkischen Alb sowie die tiefgreifende Erosion des Rheins bewirkten zudem eine Flußumkehr des Regnitz-Systems nach Norden sowie holozäne Flußänderungen als Folge der genannten Flußumkehr. Belegt werden kann diese Erscheinung durch die Schüttungsrichtung unterschiedlicher Terrassen sowie durch die Ausrichtung nahezu aller Gewässerverläufe.

Abb. 1 Landschaftsbild mit Rhein —




Hauptwasserscheide
Donau
PYRKBAUM
HINTERE SCHWARZACH (OTT)
ALLERSBERG
PREY-STADT
1978 RIETZLER
PROFIL 17
PROFIL 16
+ 200 m
- 100
0
(km) 2
2 (km)
HAUPTWASSERSCHEIDE RHEIN - DONAU

1.3 Geologischer Überblick

Das Arbeitsgebiet befindet sich am östlichen Rand des durch den Keuper und Lias vorgegebenen Schichtstufenlandes von Mittelfranken. In rascher Folge tauchen die oberen Einheiten des Mittleren Keupers, des Oberen Keupers und des Lias nach Osten ab. Die Schichten des Doggers und zum Teil Malms sind auf den Zeugenbergen Moritzberg und Möninger Berg als Relikte der nach Osten fortschreitenden Erosion des Jura erhalten geblieben.

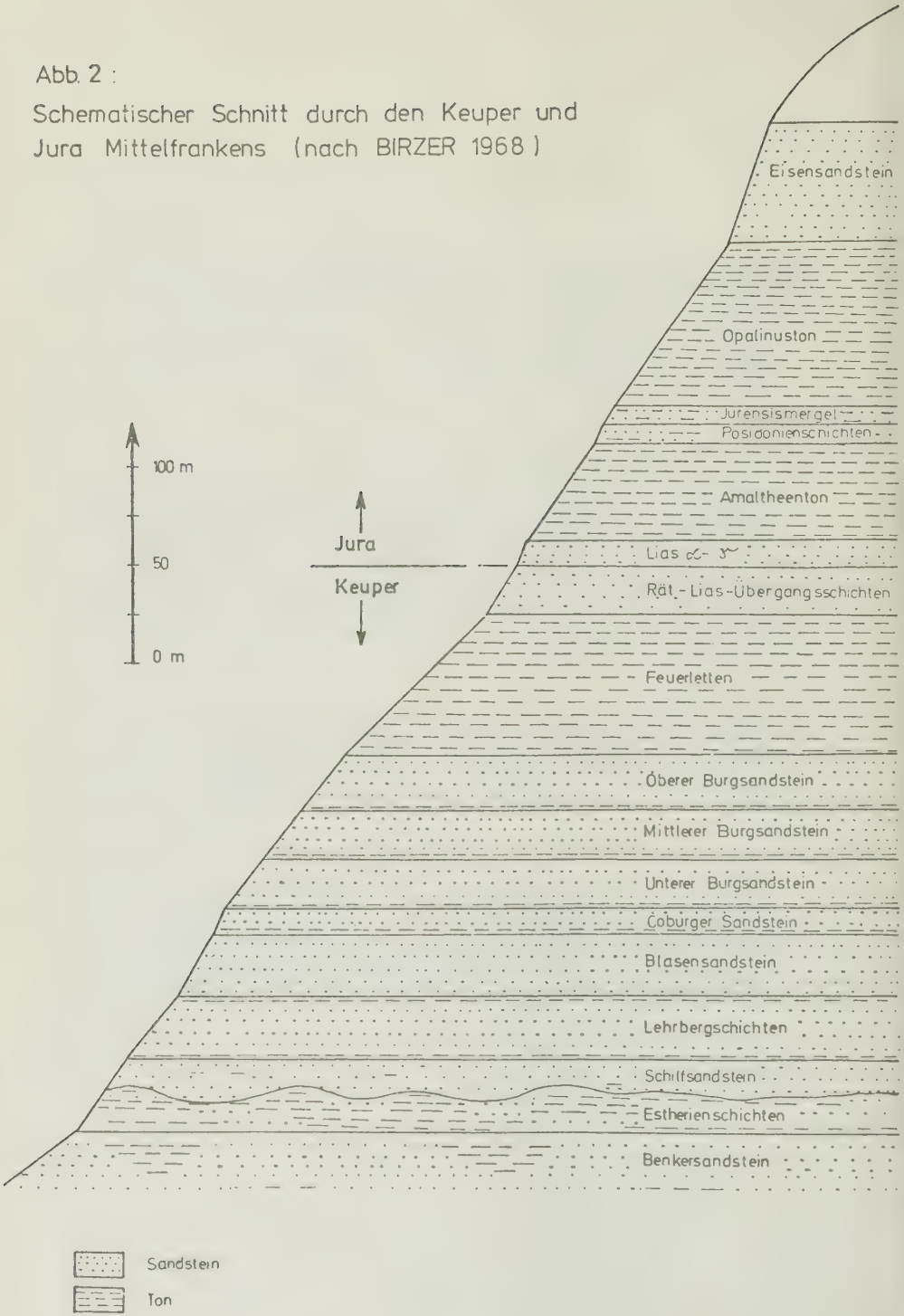
Der geologische Aufbau ist schematisch in Abb. 2 dargestellt und deutet durch die unterschiedlich steilen Böschungswinkel die Härte der jeweiligen stratigraphischen Einheit im Gelände an: härtere Gesteinsarten, wie z.B. der Lias $\alpha 3 - \gamma$ mit den Rät-Lias-Übergangsschichten bilden über steiler Böschung Verebnungsflächen mit deutlichem Geländeknick, weiche tonige Gesteinsarten, wie z.B. der Feuerletten, sind in der Regel durch schräg einfallende, die Schichtenfolge diskordant schneidende Flächen charakterisiert.

Im Gelände anstehend sind die Schichten aller drei Abteilungen des Burgsandsteins, des Feuerlettens und der Rät-Lias-Übergangsschichten sowie reliktisch die Einheiten des Jura. Die tieferen Schichten bis hinab zum Benker Sandstein sind vielfach durch Bohrungen aufgeschlossen.

In fazieller Hinsicht sind - mit Ausnahme der Esterienschichten und des Feuerlettens - alle stratigraphischen Einheiten des Keupers in der sandigen Randfazies ausgebildet. Hiervon unterscheiden sich deutlich die Schichtenfolgen des Juras, die mit wenigen Ausnahmen Meeresablagerungen darstellen (EMMERT 1964, BERGER 1978).

Abb. 2 :

Schematischer Schnitt durch den Keuper und Jura Mittelfrankens (nach BIRZER 1968)



1.4 Tektonischer Überblick

Nach der Definition von CARLÉ (1955) befindet sich das Arbeitsgebiet im östlichen Teil der süddeutschen Großscholle. Kennzeichnend ist nach dem genannten Autor die Ausbildung von Beulen in Form eines flachwelligen Mulden- und Sattelbaues, der im Bearbeitungsgebiet zum Teil durch Verwerfungen mit Versatzbeträgen bis zu 40 m Höhe gestört ist. Als tektonische Elemente sind zu nennen: das Pyrbaumer und Nürnberger Hoch sowie die Dutzendteich-, die Röthenbacher und die Möninger Mulde. Die Längen der Mulden- und Sattelachsen sind meist kleiner als 10 km. Begleitet werden die Aufwölbungen zumeist von Abschiebungen, wie dies an der hydraulisch wirksamen Haidbergstörung an der nördlichen Flanke des Nürnberger Hochs nachgewiesen werden kann. Als weitere, zum Teil ebenso hydraulisch wirksame Verwerfungen sind die Störungen parallel zum Röthenbach, sowie die Unterferriedener, die Heuberger und die Möninger Störung, die von Flexuren begleitet wird, erwähnenswert (vgl. Abb. 3).

Die vorherrschende Ausrichtung der tektonisch bedingten Strukturen ist flach herzynisch (Pyrbaumer Hoch) und erzgebirgisch (Wendelsteiner Mulde): Diese Strukturen werden von Störungen flankiert, die flach herzynisch und rheinisch ausgerichtet sind; in erstgenannter Richtung ist ein spürbares Maximum nachweisbar.

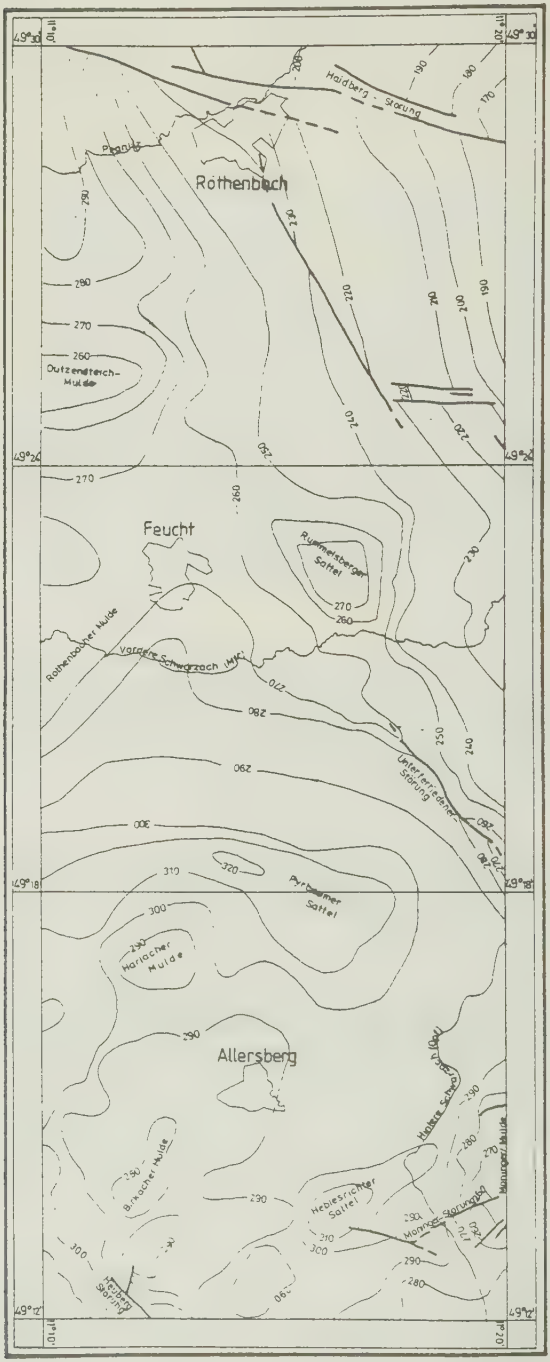
Die Ursachen der tektonisch bedingten Deformationen sind epirogenetische Bewegungen der süddeutschen Großscholle in sich.

Das Alter der tektonisch bedingten Bewegungen wird in der zusammenfassenden Darstellung von v. FREYBERG (1969) mit Cenoman bis Postcenoman angegeben (vgl. auch BERGER 1978, S. 115).

Abb. 3 :

Streichlinienkarte

(bezogen auf die Grenze Lehrbergschichten/Blasensandstein)



Legende:

- Verwerfung nachgewiesen
- Verwerfung vermutet
- 10m Streichlinie

Maßstab 1:100000

0 1 2 3 4 5km

Die Karte wurde auf Grund eigener Untersuchungen sowie nach Unterlagen von BERGER (1969, 1978), v. FREYBERG (1969) und URL.CHS (1968) erstellt

J. Rietzler 1979

Wie an der pleistozänen Flußumkehr des Rednitz-Main-Systems nachgewiesen werden kann, dauern dabei die Hebungstendenzen im Bereich der Fränkischen Alb derzeit noch an.

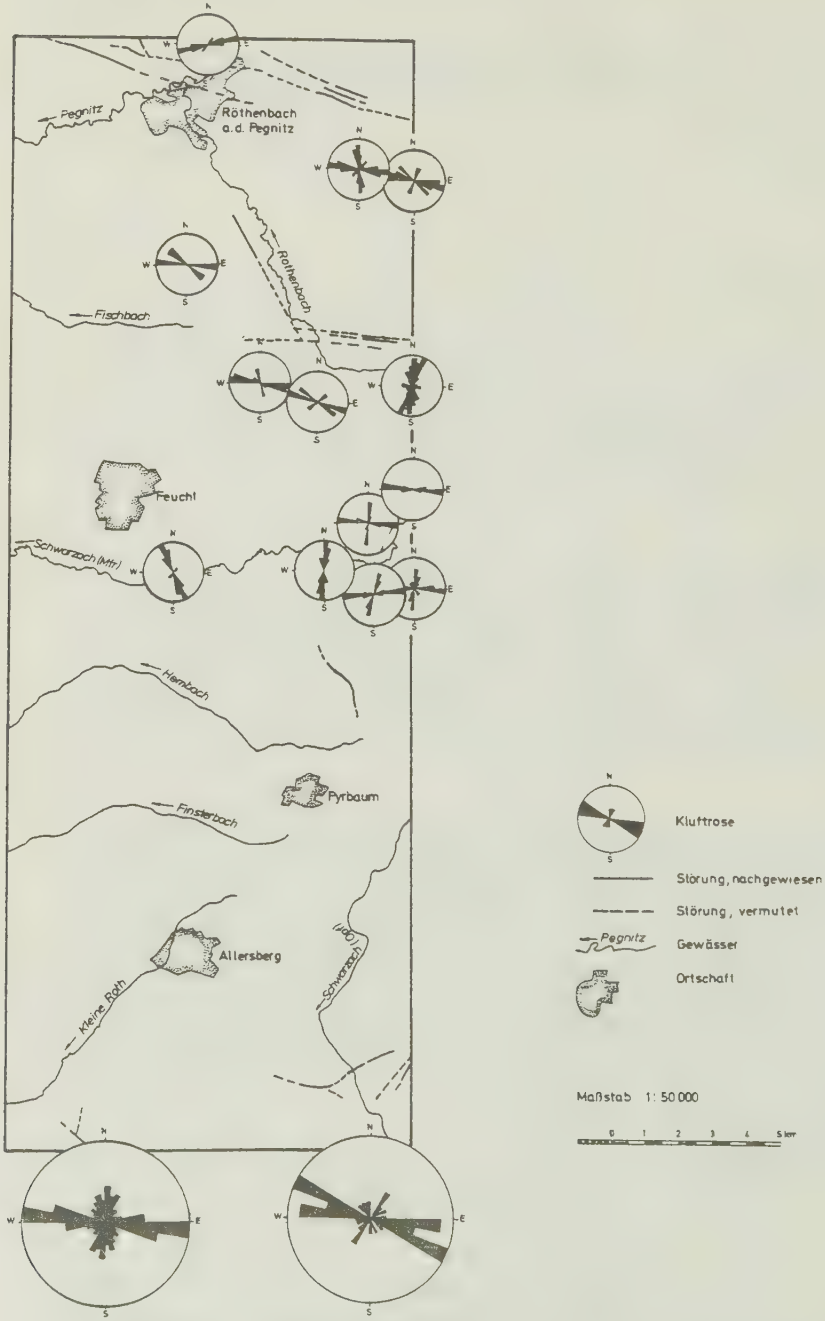
.4.1 Zur Ausbildung wasserwegsamer Klüfte

Vergleicht man die Maxima des Streichens der Klüfte mit denen der Störungen, so ist eine weitgehende Übereinstimmung erkennbar; in Anlehnung an v. FREYBERG (1969, S. 120) kann festgestellt werden, daß die Klüfte zu den Verwerfungen enge Beziehungen aufweisen und "gemeinsam im Wirkungsbereich der gleichen Schollenkanten des konsolidierten Unterbaues liegen" (vgl. Abb. 4).

Während KRAUSPE (1970) für das Gebiet um Ansbach noch wechselnd verteilte Klüfte mit streuenden Maxima feststellte, wurde im Bereich des Bearbeitungsgebietes die bevorzugte Herausbildung zweier Kluftmaxima erkannt: Neben dem Hauptmaximum der flach herzynisch ausgerichteten Klüfte wurde ein weiteres Maximum von rheinisch streichenden Klüften eingemessen. Die Untersuchungen von STAHL (1930), die im wesentlichen eine diffuse Verteilung der Klüfte angeben, konnten nicht bestätigt werden.

Beziehungen zwischen durchschnittlicher Kluftöffnungsweite, durchschnittlichem Kluftabstand und Kluftvolumen, wie sie GRIMM (1967) und KRAUSPE (1970) darlegten, konnten aufgrund der generell stark ausgeprägten Verwitterungserscheinungen und der somit nur unzulänglichen Aufschlußverhältnisse nicht statistisch genau erfaßt werden. Nach der Aussage des letztgenannten Autors ist das Kluftvolumen der Zugklüfte nach Ausmessen des Kluftabstandes und der Kluftöffnungsweite mathematisch erfaßbar: Die Kluftabstände sind dabei in gleichartigem Gestein proportional zur Bankmächtigkeit und zu den Kluftöffnungsweiten. Nach GRIMM (1967) schließen sich dabei die Klüfte mit zunehmender Überlagerungshöhe.

Abb. 4:
KLUFTROSEN UND STÖRUNGEN
L 6532 NÜRNBERG (SÜDOSTTEIL) / L 6732 SCHWABACH (OSTTEIL)



Die genannten Abhängigkeiten werden sowohl für Ton- wie Sandsteine angenommen. Ähnlich argumentiert SIEBENHÜNER (1967), der feststellt, daß selbst tief eingelagerte Tonserien und Sandsteine ein ähnlich geartetes kompetentes Verhalten aufweisen.

Diese Erkenntnisse scheinen nicht auf alle Bereiche des Keupers übertragbar zu sein. Zum einen ist eine Grundwasserneubildung im vom Feuerletten bedeckten Keuper mit nahezu 0 anzunehmen (vgl. Kap. 7.3.5), zum anderen sind Versuche, Grundwasser wirtschaftlich aus den bis zu 60 m mächtigen rein tonig ausgebildeten Feuerletten zu erschließen, von vorne herein zum Scheitern verurteilt, wie dies an zahlreichen Beispielen erkannt wurde.

Eine nennenswerte Kluftgrundwasserführung der Tonsteine des Mittleren Keupers und Juras kann in der Regel nicht nachgewiesen werden, so daß diese tonig ausgebildeten Schichten als Grundwasserstauer mit sehr niedrigen flächig ausgebildeten Durchlässigkeiten angesehen werden. Anders ist das Verhalten von geklüfteten Sandsteinen: An zahlreichen Sandsteinkluftquellen können deren große Ergiebigkeiten nachgewiesen werden. Auffallend - und dies scheint symptomatisch - sind die geringen Schüttungsschwankungen. Betrachtet man z.B. die Untersuchungen von RADIG (RADIG & REICHEL 1978) an der Sophienquelle, so fällt auf, daß diese Schwankungen nur ganz geringe Amplituden (< 10 % der Durchschnittsschüttung) aufweisen.

Bei einer Einspeisung nur über die Klufträume müßten hohe Unterschiede zu erwarten sein. Erklärbar ist diese Erscheinung beim derzeitigen Stand der Erkenntnis nur aus der Tatsache, daß eine Grundwasserspeicherung vor allem im Porenraum der Sandsteine erfolgt. Die Klüfte wirken dabei als Vorfluter des Porengrundwassers, das insgesamt ausgleichend auf die Grundwasserführung des klüftig porösen Grundwasserleiters der Keupersandsteine wirkt.

1.4.2 Zum Einfluß der wasserwirksamen Klüfte und Verwerfungen auf die Talform

Nach Auswertung der tektonischen Daten sei auf eine zweifellos vorhandene Abhängigkeit der Kluftscharen, der Störungen und der Gewässerverläufe hingewiesen. Dies sei an einigen Beispielen erläutert:

- An der Verlängerung der markanten und durchgehenden, jedoch mit keinem Versatz begleiteten flach herzynisch verlaufenden Störung am Ende der Wolfsschlucht bei Burgthann steht am beidseitigen Ausbiß jeweils eine Quelle an (Sophienquelle, Thanngrabenquelle). Weiter erkennt man, daß diese Linie im Tale des Thanngrabens endet und somit zweifelsohne die Morphologie vorgeprägt hat.

- Im Tal der Schwarzach zwischen Burgthann und der Fröschau (Rummelsberg bei Schwarzenbruck), das flach herzynisch verläuft, sind neben den im Bearbeitungsgebiet ergiebigsten Quellen des Sandsteinkeupers (Schüttung bis 10 l/s) auch extrem ergiebige Tiefbrunnen anzutreffen (spezifische Ergiebigkeit knapp 2 l/s pro m Absenkung). Als Ursache könnten wiederum dieses Tal vorprägende flach herzynische Klüfte angenommen werden.

- Ähnliches gilt für den Röthenbach, der nahezu in seinem gesamten Gewässerverlauf von flankierenden Störungslinien begleitet wird (vgl. Abb. 4).

In den aufgeführten Beispielen deutet sich fallweise eine Abhängigkeit der morphologischen Ausbildung von der tektonischen Vorprägung an; generelle ursächliche Zusammenhänge können jedoch nicht bewiesen werden.

2. Methodik

Insgesamt wurden im Rahmen dieser Arbeit 330 hydrochemische Vollanalysen durchgeführt mit jeweils 18 bestimmten Parametern. Mit Hilfe der Datenverarbeitung konnten weitere 2 Parameter (Sättigungsindex, zugehörige Kohlensäure) errechnet werden, so daß die Auswertung von ca. 7 000 Einzelwerten erforderlich war.

Die Aufarbeitung der umfangreichen hydrochemischen Daten erfolgte mit Hilfe multivariater Rechenverfahren.

Ferner wurden folgende hydrologische Kenndaten bestimmt: Körnungskurve, k-Werte, Ermittlung des nutzbaren Porenraumes und der Gesamtporosität.

Die Bestimmungen wurden, wenn nicht besonders vermerkt, an Geräten und in den Labors des Institutes für Allgemeine und Angewandte Geologie der Universität München durchgeführt.

2.1 Hydrochemische Analysen

Folgender tabellarischer Aufstellung ist die Methodik der Einzelanalysen entnehmbar. +)

Ca, Mg	Titrimetrische Bestimmung mittels Titriplex III-Lösung; Ca: Indikator Calconcarbonsäure, pH 12 Mg: Indikator-Puffertabletten (MERCK), NH_3.aq
Na, K	Bestimmung durch AAS^{++}); Gerät: PHILIPS;
Fe, Mn	Wellenlänge (nm) Na 589,0 K 766,5 Fe 248,3 Mn 280,0 Die jeweiligen Bestimmungen wurden mit Hilfe der Additionsmethode (SCHROLL 1975) überprüft.
HCO_3	Titrimetrische Bestimmung mittels 0,01 n H_2SO_4; Indikator: Methylorange
SO_4	Nephelometrische Bestimmung mittels Photometer (HACH^{+++})
Cl	Titrimetrische Bestimmung mit 0,0282 n $AgNO_3$-Lösung; Indikator: K_2CrO_4
NO_3	Cadmium-Reduktionsmethode (HACH). Die Methode wurde mit speziellen Eichkurven und mit der Additionsmethode überprüft.

\+ Aus Vereinfachungsgründen werden im folgenden und in der gesamten Arbeit anstatt der ionaren Schreibweise nur die Elemente bzw. Verbindungen geschrieben, also Ca anstatt Ca^{2+}.

++ AAS = Atom-Absorptions-Spektrophotometer

+++ Ein Teil der Bestimmungen wurde mit einem Photometer und Reagenzien der Fa. HACH durchgeführt.

NH_4	Photometrische Messung mit Seignette-Salz-Lösung und Neßlers Reagenz bei 425 nm
PO_4	Photometrische Bestimmung des ortho-Phosphats mit Vanadat-Molybdat-Lösung (HACH)
SiO_2	Photometrische Bestimmung mit Ammonmolybdat, Oxalsäure, Photo-Rex und Natriumbisulfit bei 820 nm
F	Ionensensitive Elektrode; Puffer: Trinatriumcitrat-2-Hydrat, Kaliumchlorid, Essigsäure
Cd, Cu Ni, Pb, Zn (+) Hg (++)	AAS; flammenlos, Gerät: PERKIN-ELMER-432 mit HGA 500 Programmer
As, Se (+)	AAS; elektrodenlose Entladungslampe, Gerät wie oben; Nachweis als Hydrid
Zugehörige Kohlensäure, Sättigungsindex	Berechnungen nach HÄSSELBARTH (1963) mit Hilfe der Datenverarbeitung
pH, Eh, O_2	Feldmeßgeräte der Fa. WTW Weilheim
Leitfähigkeit	Meßgerät der Fa. WTW Weilheim
Röntgendiffraktometr. Aufnahmen	Diese Bestimmung von pulverisierten Sandsteinproben diente der Identifizierung von Mineralien wie Quarz, Feldspat, Glimmer, Kalk, Dolomit etc. Die Auswertung erfolgte nach Ausmessen der Beugungswinkel gemäß den Angaben der ASTM-Kartei. Folgende Bedingungen wurden während der Messungen eingehalten: Generator 34 KV, 20 mA Szintillationszähler 730 V Diskriminator LL 0,50; Window 110 Integrationszeit 1 sec z = o Geräteempfindlichkeit "3" (alternation) Schreiber 1 x 10^2 cps Papiergeschwindigkeit 800 mm/h Goniometergeschwindigkeit 40/80, 1 ^{o}/2 min

(+) Die Bestimmungen konnten am Landesamt für Wasserwirtschaft, München, durchgeführt werden.

(++) Die Bestimmung wurde an der Bayer. Biologischen Versuchsanstalt, München, durchgeführt.

2.1.1 Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen

Die Vorbehandlung der Proben erfolgte durch Au-Besputterung in einem Plasma bei 1200 V, 20 mA und ca 200 m Torr. Die Beschichtungsdauer war 7 Minuten. Die REM-Aufnahmen erfolgten bei 30 keV.

2.2 Statistische Auswertung der hydrochemischen Analysen

Um das umfangreiche Datenmaterial, das aus insgesamt 330 hydrochemischen Vollanalysen gewonnen wurde, bewältigen zu können, wurden statistische Auswerteverfahren angewendet.

Gerechnet wurde an einer Rechenanlage des Typs AMDAHL 470 V/6, der DFVLR mit Programmen, die im Rahmen einer Forschungsarbeit für multispektrale Aufnahmeserien der DFG an der Zentralstelle für Geophotogrammetrie und Fernerkundung an der Universität München entwickelt wurden. Die Programme wurden mit geringen spezifischen Modifikationen an das hydrochemische Datenmaterial angepaßt. Das Programmpaket trägt die Bezeichnung IMAGIN (Autor R. H.DITTEL) und wurde durch von DAVIES (1973) veröffentlichte Unterprogramme der multivariaten Statistik ergänzt. Folgende Unterprogramme fanden Verwendung:

CTHETA, VARMAX, MINV, MMULT, RCOEF, STAND, EIGENJ, SUBM, WPGA, DENDRO, DIST, SLE, MULTR, RMULT, READM, PRINTM .

Die statistische Auswertung umfaßte folgende Teilschritte:

- Mittelwertbildung
- Berechnung der Standardabweichung
- Korrelationsanalyse.

Die entsprechenden Rechenoperationen können einschlägigen Fachbüchern entnommen werden, wie z. B. SCHROLL (1975, S. 194 - 221).

Das umfangreiche Datenmaterial erforderte ferner die Anwendung von multivariaten Techniken. Hiervon kamen zur Anwendung:

- Clusteranalyse (Q-Technik)
- Faktorenanalyse (R-Technik).

Prinzipiell stellt die Clusteranalyse eine Methode zur Prüfung einer Datenwolke auf ihre Homogenität dar. Die Gesamtheit der Analysen wird dabei in einem n-dimensionalen Raum betrachtet. Durch Vergleich der Einzelanalysen mit der Gesamtheit der Analysen werden charakteristische Werte ermittelt und in "Clustern" ausgedruckt. Analysen, die nunmehr Korrelationswerte < 0,3 aufweisen, sind im Vergleich zu den übrigen Analysen des jeweiligen Grundwasserleiters nicht mehr signifikant und werden eliminiert (vgl. SCHROLL, 1975, S. 223).

Im Anschluß an die Clusteranalyse wurde dann eine faktorenanalytische Betrachtung angestellt mit dem Ziel, gemeinsame charakteristische Eigenschaften des Grundwassers eines jeweiligen Grundwasserleiters zu ermitteln.

Nach SCHROLL (1975, S. 223) sind "im m-dimensionalen Merkmalsraum die Ähnlichkeitsbeziehungen zwischen bestimmten Objekten durch ihre wechselseitigen Distanzen dargestellt, welche in ihrem Ausmaß durch die jeweiligen Korrelationskoeffizienten festgelegt sind. Bei der Faktorenanalyse werden die Achsen des Ellipsoids bestimmt, von denen vorausgesetzt wird, daß sie orthogonal zueinander stehen. Die Achsen repräsentieren die Faktoren f_{jj}. Die Faktorenladungen a_{jj} werden entlang der Ellipsoidachsen gemessen. Die Faktorenladung, die den Anteil jedes Faktors am entsprechenden Merkmal darstellt, kann quasi als Korrelationskoeffizient zwischen Faktor, bzw. Komponente und Merkmal betrachtet werden."

Zur Aufsuchung von einfachen Strukturen im m-dimensionalen Merkmalsraum wurde das Verfahren der "Varimax-Rotation" angewendet, mit dem "jene Lage der Komponenten bzw. Faktoren ermittelt wird, in der die Varianz der quadratischen Faktorenladungen ein Maximum erfährt. Die Matrix wird solange rotiert, bis die Summe der Varianzen keine Veränderung erfährt. Damit wird erreicht, daß jeder Faktor mit möglichst wenigen hohen, aber vielen niedrigen Ladungen verbunden ist, so daß der Faktor für möglichst wenige Merkmale spezifisch wird" (SCHROLL, 1975, S. 223). Zahlenwerte nahe $\pm$ 1 bedeuten demnach höchste Korrelation mit entsprechend hohen Faktorenladungen, Werte um $\pm$ 0 fehlende Korrelierbarkeit.

Die Faktorenanalyse sei kurz am folgenden Beispiel erläutert:

Tab. 1: Faktorenladungen von Faktoren unterschiedlicher Ordnungen

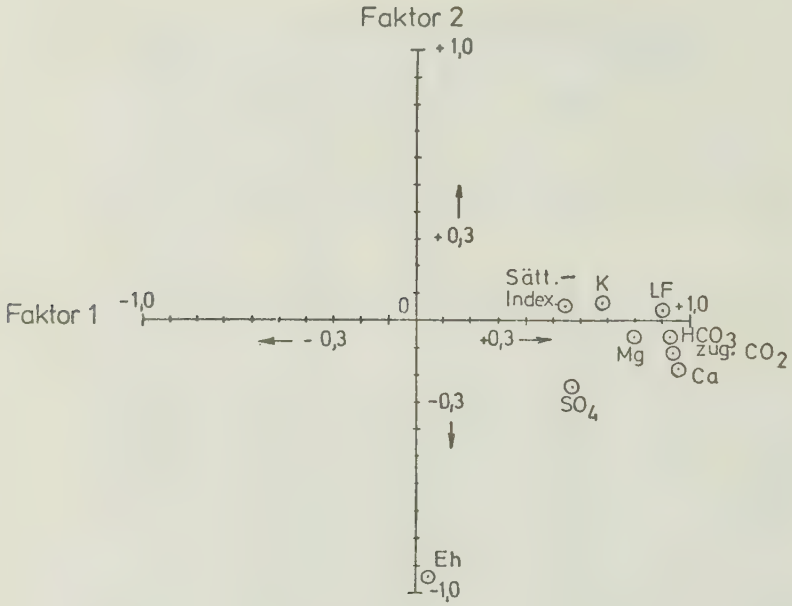
	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	Faktor 4
Leitfähigkeit	+0,90	+0,04	+0,26	+0,12
pH	+0,14	+0,19	+0,11	+0,94
Eh	+0,05	-0,96	-0,06	-0,22
Ca	+0,94	-0,14	-0,01	+0,07
Mg	+0,79	-0,01	-0,06	+0,33
Na	+0,12	-0,00	-0,94	-0,01
K	+0,07	+0,07	-0,11	-0,13
Fe	-0,16	-0,03	-0,00	-0,13
Mn	-0,01	-0,05	-0,09	-0,04
HCO_3	+0,86	-0,04	+0,07	+0,22
SO_4	+0,55	-0,24	-0,23	-0,19
Cl	-0,03	-0,12	-0,91	-0,18
NO_3	+0,08	-0,07	-0,13	-0,03
NH_4	-0,19	-0,08	-0,03	-0,04
PO_4	-0,28	+0,19	+0,05	-0,32
F	+0,04	+0,22	+0,00	+0,09
SiO_2	-0,25	-0,00	+0,07	-0,12
Zug.CO_2	+0,94	-0,09	+0,04	+0,06
Sätt.Index	+0,56	+0,06	+0,12	+0,74

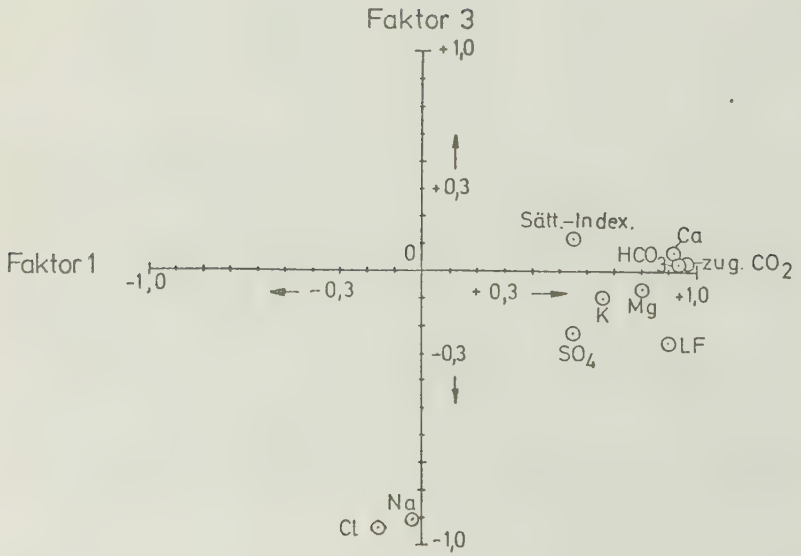
Trägt man nun die Faktoren höherer Ordnung (Faktor 1) gegen die Faktoren der nächst niedrigen Ordnungen (Faktor 2 bzw. Faktor 3) auf einem Koordinatenkreuz auf, so ergibt sich in Diagramm 1 folgende Beziehung:

Deutlich wird erkennbar, daß das Auftreten von Ca, Mg, HCO_3, zug. CO_2 und der Leitfähigkeit bei gleichgerichteten hohen Faktorenladungen voneinander abhängige und ursächliche Zusammenhänge aufweist. K und SO_4 haben niedrigere Faktorenladungen mit jedoch noch deutlicher Zuordnung zu den obengenannten Hauptkomponenten.

Obwohl Na und Cl nur in geringen durchschnittlichen Mengen auftreten (vgl. Tab. 5 in Kap. 3.3.1), sind, unabhängig vom Chemismus der Hauptinhaltstoffe, hohe gegenseitige Korrelationen nachweisbar.

Diagr.1: Faktoren mit Faktorenladungen > 0,3





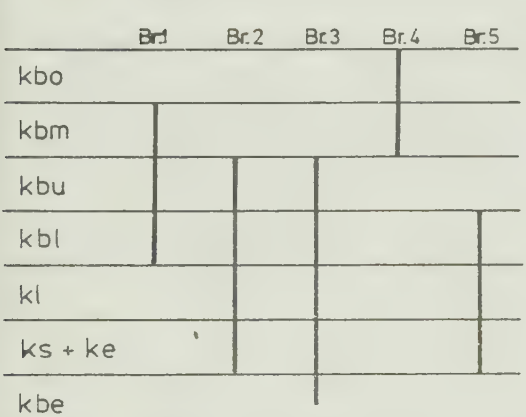
Die faktorenanalytische kumulative Eigenwertbildung, die besagt, zu wieviel Prozent eine bestimmte Anzahl von Komponenten zur Charakterisierung des Grundwassers beiträgt, liegt bei Erfassung von 3 Komponenten bei 57,5 %, bei Erfassung von 5 Komponenten bei 72,7 % und bei Erfassung von 7 Komponenten bei 83,7 %.

2.2.1 Auswahlverfahren der hydrochemischen Analysen

Wie in Abb. 5 schematisch dargestellt, werden durch ca. 100 Tiefbrunnen im Bearbeitungsgebiet in der Regel Mischgrundwässer mehrerer Grundwasserleiter gefördert.

Abb. 5 :

Schematische Darstellung der Mischgrundwasserentnahme aus dem Mittleren Keuper



	Erfassung durch Br.	Anzahl der Br.
kbo	4	1
kbm	1,4	2
kbu	1,2,3	3
kbl	1,2,3,5	4
kl	2,3,5	3
ks + ke	2,3,5	3
kbe	3	1

Um nun Tendenzen in irgendeiner Weise herausarbeiten zu können, wurde wie folgt verfahren: Aus Abb. 5 ist ersichtlich, daß der Obere Burgsandstein (kbo) durch eine Analyse des Brunnens 4 erfaßt wurde. Der Mittlere Burgsandstein (kbm) wurde durch die Analysen am Br.1 und Br. 4 erfaßt, der Untere Burgsandstein durch Analysen aus Br. 1, 2 und 3.

Durch einfache Addition der jeweiligen Grundwasserchemismen und Mittelwertbildung wurden sodann "Mischgrundwasserchemismen" ermittelt. Signifikante Abweichungen von den erhaltenen Durchschnittswerten wurden schließlich durch die Clusteranalyse erkannt und eliminiert.

Wie in Kap. 3.1.1 nachgewiesen, können durch dieses Auswahlverfahren eindeutige Trends der Grundwasserchemismen bestimmt werden.

2.3 Grundwasserhydraulische Berechnungsverfahren

Insgesamt werden über 200 Pumpversuche sowie eine Fülle von Laborversuchen mit unterschiedlichen hydraulischen Berechnungsverfahren ausgewertet. Größtes Interesse fand dabei naturgemäß die Bestimmung des k-Wertes. Mit unterschiedlichen Rechenverfahren wurden ferner die Transmissivität und der Speicherkoeffizient ermittelt.

Um die große Fülle des anstehenden Datenmaterials bewältigen zu können, fand die Auswertung mit Hilfe eines programmierbaren Taschenrechners statt. Die einzelnen Formeln konnten dabei auf Magnetkarten gespeichert werden.

2.3.1 Bestimmung des k-Wertes im Labor

Die im Labor bestimmte Wasserdurchlässigkeit einer Probe wird durch den Durchlässigkeitswert k angegeben. Grundlage für das Fließen des Grundwassers durch ein poröses Medium ist das Gesetz nach DARCY:

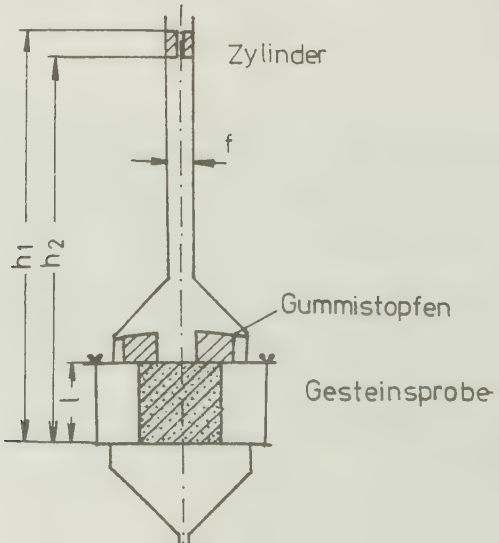
$$v = k \cdot i \ (m/s)$$

Die Filtergeschwindigkeit v ist dabei definiert als die Grundwassermenge, die einen senkrecht zur Fließrichtung liegenden Querschnitt proportional zu einem hydraulischen Gefälle i in der Zeiteinheit t durchfließt.

Es wurden Durchlässigkeitsversuche sowohl an ungestörten Proben des Quartärs wie an Sandsteinen des Keupers durchgeführt. Während für die k-Wert-Bestimmung an Lockersedimenten die einschlägigen Laborgeräte zur Verfügung standen, wurde demgegenüber für die Bestimmung an Sandsteinproben eine eigene Meßmethodik entwickelt (vgl. Abb. I).

Abb. I:

Permeameter zur Bestimmung des Durchlässigkeitsbeiwertes k



Die Durchlässigkeitsversuche bei unterschiedlichen hydraulischen Gefällen zeigten, daß das DARCY-Gesetz bis in einen Mindestbereich von $k = 1 \cdot 10^{-7}$ (m/s) bzw. 10 mD gültig ist. Die untere Gültigkeitsgrenze des DARCY-Gesetzes wird von DOBNER (1975) mit $5 \cdot 10^{-9}$ (m/s) angegeben.

Die k-Wert-Berechnung erfolgte nach der aus dem DARCY-Gesetz ableitbaren Gleichung:

$$k = \frac{f \cdot l}{F \cdot t} \ln \frac{h_1}{h_2} \quad (m/s)$$

f = Querschnitt des Standrohres (m)
F = Querschnitt der Probe senkrecht zur Strömungsrichtung (m)
l = durchströmte Probenlänge (m)
t = Durchflußzeit (s)
h_1 = Höhe der Wassersäule über dem Probenauslauf zu Beginn des Versuches (m)
h_2 = Höhe der Wassersäule über dem Probenauslauf zum Zeitpunkt t

2.3.1.1 Bestimmung des k-Wertes an Sandsteinproben

Ein mit Wasser gesättigter Bohrkern, bzw. ein Probenprisma wurde mit einem schnell härtenden Lack mehrere Male auf den Vertikalseiten wasserdicht umhüllt. Anschließend wurde die Probe in einen DARCY'schen Wasserpermeameter eingespannt und auf ein Stativ gestellt, wobei zwischen der Probenoberseite und dem Meßgehäuse ein mit einer Öffnung versehener Gummistopfen als Abdichtung eingebracht wurde. Sodann wurde die Probe mit der Probenunterseite in entlüftetes Wasser eingebracht. Über das obere Ende konnten durch ein angelegtes Vakuum alle restlichen Luftblasen, die sich in der Sandsteinprobe befanden, entfernt werden.

Die Vorteile dieses Meßaufbaues sind

- beliebige Form der Probe
- beliebiger Meßquerschnitt
- die das Meßergebnis negativ verfälschende Restluft in der Probe kann ohne weiteres ausgetrieben werden
- Umläufigkeiten um die Probe sind nicht möglich
- eine Bestimmung des k-Wertes bis zu mindestens $1 \cdot 10^{-7}$ m/s ist möglich (vgl. hierzu LUDEWIG 1967, UDLUFT 1974, DOBNER 1975)
- eine Bestimmung des Anisotropiegrades (Vergleich Strömung parallel und senkrecht zur Schichtung) ist durchführbar.

2.3.2 Bestimmung des k-Wertes aus Pumpversuchen

Die Berechnungen erfolgten unter Anwendung unterschiedlicher Formeln. Die allgemein gültigen Bedingungen zur Ermittlung des k-Wertes unter quasistationärem Zustand wurden von J. DUPUIT und G. THIEM bestimmt. Es gelten folgende Beziehungen:

$$k = \frac{Q \cdot \ln \frac{x_1}{x_2}}{(y_1^2 - y_2^2) \cdot \pi} \quad (m/s)$$

für Grundwasser mit freier Oberfläche und

$$k = \frac{Q \cdot \ln \frac{x_1}{x_2}}{2\pi \cdot M \cdot (y_1 - y_2)} \quad (m/s)$$

für Grundwasser mit gespannter Oberfläche.
Hierbei sind

Q = Zuströmende Grundwassermenge zum Einzelbrunnen (m^3/s)

x_1, x_2 = Entfernung x von Pegeln zum Brunnen (m)

y_1, y_2 = gemessene Grundwasserhöhe in den Pegeln (m)

M = Mächtigkeit des Grundwasserleiters (m)

Da die Ermittlung des k-Wertes nach THIEM-DUPUIT zwar sehr genau ist und den natürlichen Gegebenheiten Rechnung trägt, jedoch hierfür mindestens zwei Beobachtungspegel erforderlich sind und dies einen Mehraufwand bedeutet, wurden für die Praxis unterschiedliche empirische Formeln entwickelt. Die Bestimmung des k-Wertes kann nach BIESKE (1965) durch einfache Ermittlung des Absenkbetrages im Brunnen errechnet werden:

Die Formel

$$k = \frac{2 \cdot (Q_2 - Q_1)}{h_1^2 - h_2^2} \quad (m/s)$$

gilt für Grundwasser mit freier Oberfläche und die Formel

$$k = \frac{Q_2 - Q_1}{M \cdot (h_1 - h_2)} \quad (m/s)$$

gilt für gespannte Grundwasserleiter.

Hierbei entsprechen h_1 und h_2 den jeweils im Brunnen abgesenkten Grundwasserhöhen bei unterschiedlichen Entnahmemengen Q_1 und Q_2. Bei Vorliegen nur einer Grundwasserförderung Q_1 wurde die empirische Formel nach GRIMM/HOFBAUER (1967) bzw. DAHLHAUS (in MEIER 1967) angewendet:

$$k = \frac{2\,Q}{H^2 - h^2} \quad (m/s)$$

Hierbei entspricht die Grundwasserhöhe H der Mächtigkeit M der grundwasserführenden Schicht.

Eine weitere Auswertemethodik zur k-Wert-Bestimmung ist die angenäherte mathematische Beschreibung des instationären Wiederanstiegs nach einem Pumpversuch.

Grundlage dieses Verfahrens ist das DARCY-Gesetz sowie die angenäherten Berechnungsverfahren nach THEIS (1935) und DÜRBAUM (1969). Für gespannte Grundwasserleiter gilt:

$$k = \frac{0{,}0795 \cdot Q}{s_{(t_1)} \cdot M} \cdot \ln (t_1/t_2) \quad (m/s)$$

Für nicht gespannte Grundwasserleiter gilt nach THEIS-JACOB und DÜRBAUM

$$k = \frac{0{,}159 \cdot Q}{(H^2 - h^2)} \cdot \ln (t_1/t_2) \quad (m/s)$$

Die Zeit t_1 bedeutet dabei die Dauer des Pumpversuchs plus der Zeit des Wiederanstieges t_2 und $s_{(t_1)}$ die Absenkung im Brunnen zum Zeitpunkt t_2.

Dieses Verfahren hat nur dann Gültigkeit, wenn die Dauer des Pumpversuchs ungleich größer ist als die Zeit des Wiederanstiegs.

2.3.3 Berechnung weiterer hydrologisch wichtiger Kenndaten

2.3.3.1 Bestimmung der Transmissivität (T) nach LOGAN

Die Transmissivität läßt sich nach dem vereinfachten empirischen Verfahren nach LOGAN (1964) bestimmen:

$$T = \frac{1{,}22 \cdot Q}{s} \quad (m^2/s).$$

Die Transmissivität stellt die Durchflußrate durch einen Querschnitt F von der Länge 1 und der Höhe M des Aquifers bei einem hydraulischen Gefälle von 1 dar.

2.3.3.2 Bestimmung des Speicherkoeffizienten nach THEIS

Die Ermittlung des Speicherkoeffizienten S erfolgt nach der von THEIS abgeleiteten Formel, die den instationären Vorgang der raum-zeitlichen Absenkung mathematisch angenähert beschreibt.

$$S = 1g \quad \frac{2{,}25 \cdot t \cdot T}{x^2} - \frac{5{,}46 \cdot T \cdot s}{Q},$$

wobei x eine veränderliche Entfernung, z. B. Brunnen - Pegel darstellt. Die Bestimmung des Speicherkoeffizienten hat nur dann Gültigkeit, wenn der Ausdruck

$$u = \frac{x^2 \cdot S}{4 \cdot T \cdot t}$$

< 0,05 ist, was durch nachträgliche Berechnung überprüft wurde. Dementsprechend konnten nur wenige Werte errechnet werden. Ferner wird der Ausdruck T (Transmissivität) mit (k • M) gleichgesetzt, wobei der k-Wert nach THIEM-DUPUIT ermittelt wurde (RICHTER/LILLICH 1975, S. 80, 95).

Nach den genannten Autoren ist der dimensionslose Speicherkoeffizient als diejenige Wassermenge (m^3) definiert, die aus einer Säule von 1 m^2 Grundfläche bei einem Druckspiegelgefälle um 1 m freigesetzt wird. Der Speicherkoeffizient liegt für gespannte Grundwasserleiter im allgemeinen bei $5 \cdot 10^{-5}$ bis $5 \cdot 10^{-3}$ (RICHTER/LILLICH 1975, S. 95), für nicht gespannte Grundwasserleiter bei 0,2 - 0,01. Druckspiegeländerungen bei gespannten Grundwässern zeigen demnach eine ungleich geringere Vorratsänderung an als gleiche Änderungen der Wasserspiegel bei freier Grundwasseroberfläche.

Da die Keupergrundwasserspiegel fast ausnahmslos gespannt sind, wurden die Formeln für gespannte Grundwasserleiter verwendet. Die Wasserbohrungen endeten zumeist an den Basisletten von einzelnen Grundwasserleitern; es wurde somit die jeweilige Druckhöhe der durch die Bohrung erfaßten Wassersäule in den Berechnungen als Grundwassermächtigkeit M eingesetzt.

2.3.3.3 Bestimmung der nutzbaren Porosität n_{eff} von quartären Porengrundwasserleitern

- Nach einem empirischen Verfahren von MAROTZ (1968) läßt sich bei Kenntnis des k-Wertes die nutzbare Porosität eines Gw-Leiters errechnen.

$$n_{eff} = 0{,}462 + 0{,}045 \cdot \ln k$$

- Die nutzbare Porosität ließ sich ferner durch Laborversuche ermitteln. Da die kapillare Steighöhe h_k meist größer ist als die zur Verfügung stehenden Probegefäße, mußte die Bestimmung an gestörten Proben durchgeführt werden.

  Die Probe wurde dabei in einen Plexiglaszylinder, der mit entlüftetem Wasser beschickt war, eingeschlämmt und durch Rütteln verfestigt. Durch einen am unteren Ende des Gefäßes befindlichen Entwässerungshahn konnte durch gravitative Entwässerung das nutzbare Porenvolumen n_{eff} bestimmt werden: Das Volumen des nicht mehr benetzten Anteiles im Zylinder entspricht dabei der ausgeströmten Wassermenge.

  In einem weiteren Versuch konnte durch Anlegung eines Vakuums mit der Wasserstrahlpumpe die kapillare Steighöhe h_k des Kapillarsaums unterbunden werden. Durch diese Methode ergaben sich an ungestörten Proben ähnliche Werte wie durch die oben beschriebene Methode.

- Nach Umformen und Ableiten gilt nach THEIS-JACOB für einen unendlich ausgebreiteten und nicht gespannten Grundwasserleiter folgende Näherungsformel:

$$\ln n_{eff} = \ln 2{,}25 \cdot t \cdot T - \ln x^2 - \frac{(H^2-h^2) \cdot 6{,}28 \cdot k}{Q}$$

  Voraussetzung ist, daß der folgende Ausdruck

$$u = \frac{x^2 \cdot n_{eff}}{2{,}25 \cdot t \cdot T} < 0{,}05,$$

  wobei für n_{eff} ein Schätzwert (z.B. empirische Berechnung nach MAROTZ 1968) eingesetzt werden kann.

- Auf die in Kap. 4.2.1.5.1 dargelegte Bestimmung des nutzbaren Hohlraumvolumens durch Auswertung von Pumpversuchen sei dorthin verwiesen.

2.3.3.4 Bestimmung der einer Mehrbrunnenanlage zuströmenden Grundwassermenge durch die FORCHHEIMER'sche Mehrbrunnenformel

Die FORCHHEIMER'sche Mehrbrunnenformel ist aus der Formel von THIEM-DUPUIT abgeleitet worden, unter Einsetzen des Index A, der einen sog. Ersatzbrunnenradius darstellt und das Mittel der Entfernung zu den einzelnen Brunnen einer Mehrbrunnenanlage bedeutet. WEBER (1928) hat darauf hingewiesen, daß die FORCHHEIMER'sche Mehrbrunnenformel bei $\ln R/A > 1$ ungültig wird und anstatt des Einsatzes der SICHARDT'schen Reichweite R den Wert $\sqrt{R^2 + A^2}$ empfohlen. Somit ergibt sich für die Berechnung der Zuströmung zu einer Mehrbrunnenanlage:

$$Q = \frac{\pi \cdot k \cdot (H^2 - h^2)}{\ln \frac{\sqrt{(R^2 + A^2)}}{A}} \quad (m^3/s)$$

Die der FORCHHEIMER'schen Formel zugrunde liegende stationä Berechnung stellt den Momentanzustand eines instationären Absenkungsgeschehens dar, das mit Hilfe der raum-zeitlichen Berechnung nach THEIS-JACOB näherungsweise definiert wird:

$$\ln t = \ln A^2 - \ln \frac{2{,}25 \cdot T}{n_{eff}} + \frac{(H^2 - h^2) \cdot k}{Q \cdot 0{,}159} \quad (s)$$

Voraussetzung für die Gültigkeit dieser Berechnung sind die oben genannten Bedingungen.

2.4 Sedimentologische Auswertung

Zur Kennzeichnung des Kornaufbaues der untersuchten Keupersandsteine und der quartären Ablagerungen wurden ca. 110 Siebungs-Analysen ausgewertet.

Schwerpunkt waren dabei Untersuchungen des Quartärs der Pegnitz. Hierzu wurden mir freundlicherweise durch die EWAG, Nürnberg, umfangreiche Unterlagen zur Verfügung gestellt.

Die Prüfsiebe hatten folgende lichte Maschenweite (mm): 0,063 - 0,1 - 0,2 - 0,315 - 0,50 - 0,80 - 1,25 - 2,0 - 2,5 - 3,15 - 5,0 - 8,0,für das Quartär der Pegnitz (78 Proben) und 0,063 - 0,112 - 0,2 - 0,355 - 0,63 - 1,12 - 2,0 - 3,55 für die Untersuchungen an den pleisto-

zänen Flugsanden und an aufgeschlossenen Sandsteinproben (31 Proben). Die erstgenannte Untersuchungsreihe wurde nach Trocknung des Sediments durch die EWAG, Nürnberg, die zweitgenannten Untersuchungen durch Schlämmung in einem automatischen Rüttler im sedimentologischen Labor des geologischen Institutes der Universität München durchgeführt.

Eine Auswertung der Körnungskurven bzw. Körnungsfelder zur k-Wert-Bestimmung wurde auf Grund der z.T. sehr hohen Ungleichförmigkeitsgrade (bis 22) nach der Methode von BEYER (in HERTH/ARNDTS 1973) durchgeführt.

3. Gesteinsausbildung, Grundwasserchemie und Grundwasserhydraulik der untersuchten stratigraphischen Einheiten des Keupers und des Juras

3.1 Mittlerer Keuper

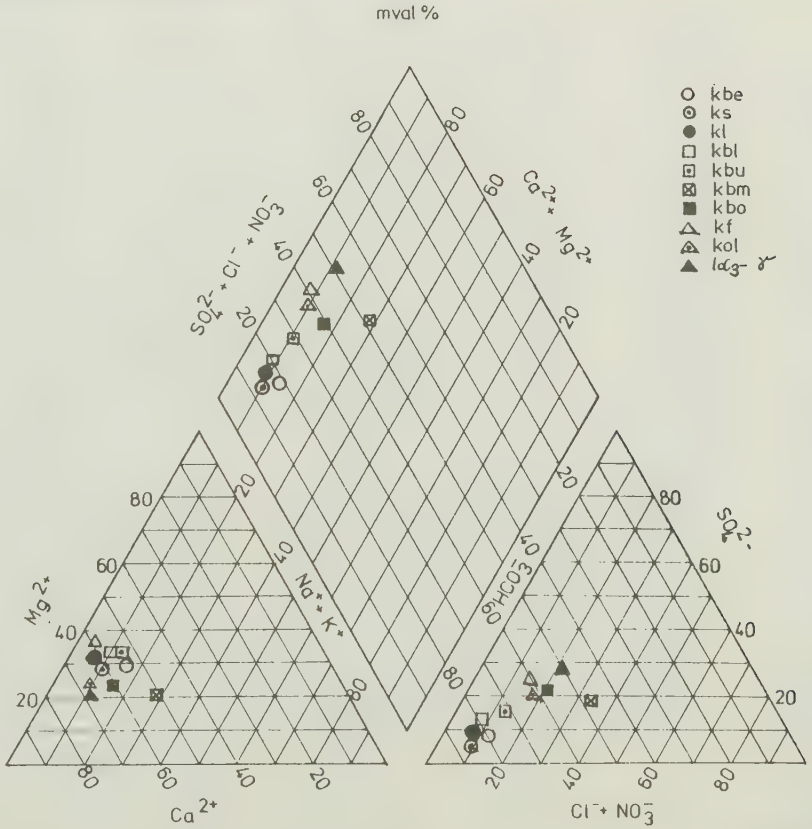
Der Mittlere Keuper ist im Bearbeitungsgebiet mit Ausnahme der Estherienschichten und des Feuerlettens in der sandigen Randfazies ausgebildet. Seine maximale Mächtigkeit beträgt ca. 260 - 270 m, worin die Estherienschichten, nicht aber der Feuerletten miterfaßt sind. Deutliches Charakteristikum zur Abgrenzung der einzelnen faziellen Einheiten ist die Ausbildung von trennenden Basisletten-horizonten (v. FREYBERG, 1936, HAARLÄNDER, 1955). Eine Folge dieser Sedimentationszyklen (v. FREYBERG, 1965) ist die Ausbildung mehrerer Grundwasserstockwerke, die teils aushaltend, teils durch sandige Fenster in den Basisletten unterbrochen sind (GRIMM & HOFBAUER, 1967, S. 119).

3.1.1 Zur vertikalen Differenzierung des Grundwasserchemismus

Durch die Beprobung nahezu aller Brunnen wurden charakteristische chemische Eigenschaften sowohl in vertikaler wie in horizontaler Richtung ermittelt.

Da die Grundwässer, speziell der tieferen Horizonte, dabei in der Regel als Mischwässer mehrerer Grundwasserleiter zutage gepumpt wurden, fand die Auswertung der entsprechenden hydrochemischen Analysen zur vertikalen Differenzierung u.a. mit Hilfe statistischer Methoden (Faktoren- und Clusteranalyse) statt.

Abb. 6:
Vierstoff-Diagramm und OSANN'sche Dreiecke der Mittelwerte der Grundwasserchemismen des Keupers und unteren Lias



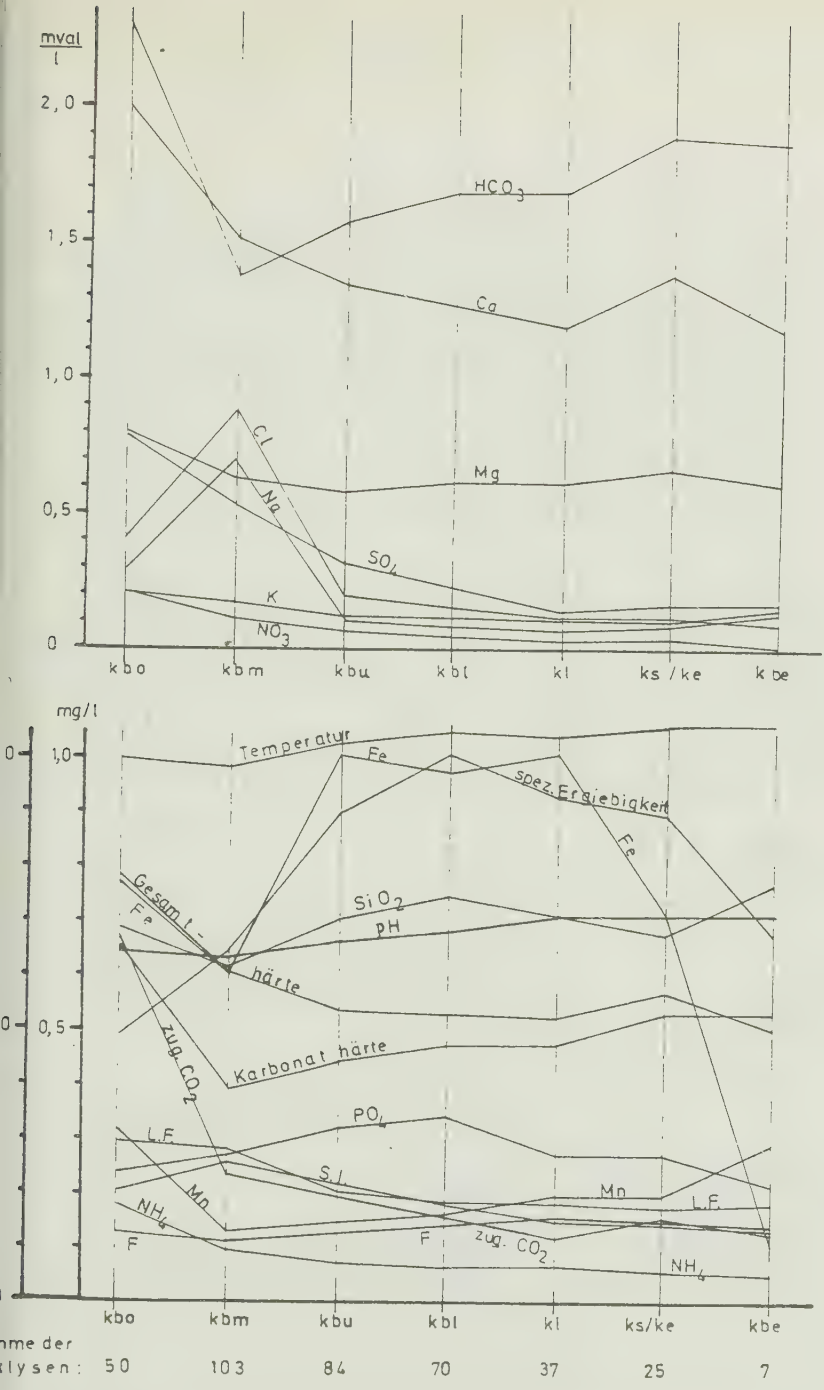


Abb. 7. Grundwasserchemismus der Keupersandsteine kbo-kbe auf dem Bereich der Gradabteilungsblätter Röthenbach, Feucht und Allersberg

Zur Methodik des Auswerteverfahrens vgl. Kap. 2.2.1.

Dieses Vorgehen setzt voraus, daß alle Grundwasserleiter ähnliche Ergiebigkeiten aufweisen und birgt zudem die Gefahr einer Nivellierung der Grundwasserchemismen aller Grundwasserleiter in sich. Um jedoch Tendenzen nachweisen zu können, erscheint dieses Auswahlverfahren als das sinnvollste zur Erfassung und Kennzeichnung der chemischen Eigenschaften der beprobten Grundwasserhorizonte.

Im Sinne der Darstellungen von LANGGUTH (1966, S. 52) werden mit Ausnahme des Mittleren Burgsandsteins aus dem Keuper des Bearbeitungsgebietes normal erdalkalische überwiegend hydrogenkarbonatische Süßwässer gefördert (Abb. 6).

Der Abb. 7 ist entnehmbar, daß die Grundwasserchemismen deutliche Tendenzen aufweisen. Auffallendstes Ergebnis der Untersuchungen ist dabei der Einfluß menschlich bedingter Inhaltsstoffe auf das Grundwasser der hangenden Grundwasserleiter in Form von hohen NaCl-Einträgen und der damit einhergehenden Störung des natürlichen Kalk-Kohlensäuregleichgewichtes. Ferner kann mit Erfassung der tieferen Grundwässer ein zunehmendes chemisches Gleichgewicht, dargestellt durch den Calciumkarbonat-Sättigungsindex, festgestellt werden.

Legende zur Abb. 7

Tabelle 0 - 1,0	Ca, Mg, Na, K, HCO_3, SO_4, Cl, NO_3 als mVal/l, Fe, Mn, NH_4, F als mg/l spez.Ergiebigkeit in l/s · m für die Grundwasserleiter kbe-kbm Quellschüttung in l/s des kbm, kbo
Tabelle 0 - 10,0	zugehörige Kohlensäure (zug. CO_2), PO_4, SiO_2 in mg/l Temperatur in °C die Härten in °dH pH-Wert, Sättigungsindex (SI) · (-1) Leitfähigkeit (LF) in mS/m · 10

Die Ergebnisse im einzelnen:

Summe Ca, Mg: (kennzeichnend für Gesamthärte)	Ersichtlich ist eine Abnahme mit zunehmender Teufe; bei Erfassung des Schilfsandsteins (ks) ist ein leichter Anstieg erkennbar; das Verhältnis Ca/Mg nimmt mit zunehmender Teufe ab.

HCO_3: (kennzeichnend für Karbonathärte)	Diskontinuierlicher Verlauf nachweisbar: kräftige Abnahme vom Oberen Burgsandstein (kbo) zum Mittleren Burgsandstein (kbm), ab hier wieder Zunahme bis zum Blasensandstein i.w.S. (kbl); scheinbare Härte beim Benker Sandstein.
Calciumkarbonatsättigungsindex (S.I.):	Der Calciumkarbonatsättigungsindex stellt einen Vergleich des gemessenen pH-Wertes mit dem errechenbaren Gleichgewichts-pH-Wert dar. Enthalten Wässer mehr freie Kohlensäure als ihrem Gleichgewicht entspricht, so ist ihr gemessener pH kleiner als ihr Gleichgewichts-pH, der Wert wird negativ.
	Charakteristisches Merkmal der geförderten Grundwässer der Sandsteine des Mittleren Keupers ist im allgemeinen deren negativer Sättigungsindex, und damit ein steter Gehalt an aggressiver Kohlensäure. Ferner ist ab dem kbm mit zunehmender Teufe bei den geförderten Mischwässern eine Abnahme des Sättigungsindexes zu erkennen, d. h. mit zunehmender Teufe nähern sich die Grundwässer dem Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht.
pH-Wert:	Steter Anstieg vom kbo zum Benker Sandstein (kbe); umgekehrt proportional verhält sich hierzu der errechnete Ausgleichs-pH-Wert (siehe oben).
Fe:	Bedingt durch das deutliche Hoch der Eisen-Gehalte bei Feucht ergibt sich im Durchschnitt aller Werte ein verfälschendes Bild. Bleibt dieser Bereich unberücksichtigt, so läßt sich die Tendenz einer Zunahme vom kbo zum kbl erkennen. Ab den Lehrbergschichten sind nur noch geringe Eisen-Gehalte nachweisbar.
Mn:	Eine spürbare Abnahme ist vom kbo zum kbm ersichtlich; ab dem kbm ist ein merklicher Anstieg bis zum kbe nachweisbar. Häufig ist das Auftreten von Mn mit dem des Fe gekoppelt.
K, SO_4, PO_4:	Dem K, SO_4 und dem PO_4 ist jeweils ein "amphotäres" Verhalten nachzuweisen: die Herkunft kann sowohl menschlich als auch geologisch bedingt sein. Nachweisbar ist, daß mit zunehmender Teufe die Her-

kunft des K wie auch des SO_4 geologisch bedingt ist; beiden Ionen ist in den Mischwässern bis zum Erreichen der Lehrbergschichten eine Abnahme der Gehalte gemein. PO4 weist stets hohe Standardabweichungen auf.

Na, Cl: Deutlicher Ausdruck der Umweltbelastung des Grundwassers: Neben dem Korrespondieren beider Ionen (ein konstanter Anteil des Na wird durch Kationenaustausch ersetzt) bewirkt der Eintrag der genannten Ionen eine Störung des Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichtes; dementsprechend erniedrigt sich die Karbonathärte. Ein Nachweis der umweltbedingten Ionen gelingt bis zu den Mischwässern des kbl.

NO_3, NH_4: Nitrat und Ammonium weisen mit zunehmender Teufe eine Abnahme auf und sind ohne Zweifel Ausdruck anthropogener Beeinflussung des Grundwassers. Ammonium korreliert in den hangenden Grundwasserleitern hoch mit dem Eisen und ist Ausdruck der lokal und regional bedingten natürlichen reduzierenden Bedingungen.

SiO_2, F: Beide Parameter zeigen keine ursächlichen Zusammenhänge aus unterschiedlichen Ursachen: F tritt mit Ausnahme der westlich angrenzenden Gebiete (Blätter Roth, Schwabach) nur im Bereich der Nachweisgrenze auf. Statistische Nachweise entbehren somit jeglicher Grundlage.

Das SiO_2 weist nur unter Vorbehalt mit steigendem $_pH$-Wert (CORRENS, 1967) und größerer Teufe eine Zunahme der Gehalte auf. Da das SiO_2 nicht eines Lösungsgenossen in Form von Kationen bedarf, sind auch entsprechende Abhängigkeiten nicht nachweisbar.

T: Die Temperatur zeigt nur einen minimalen Anstieg bei Förderung der Mischwässer aus zunehmender Teufe. Hieraus könnte abgeleitet werden, daß eine Grundwasserergiebigkeit mit zunehmener Teufe abnimmt und dementsprechend die geothermische Tiefenstufe nicht erfaßt wird. Wie aus der statistischen Auswertung zum Grundwasserchemismus hervorgeht, müssen jedoch auch die tieferen Grundwasserstockwerke zu einem erheblichen Anteil an der Grundwasserförderung beteiligt sein.

Aufgrund der Meßwerte könnte ein extrem niedriger geothermischer Gradient von ca. 1°C/100 m Teufe angenommen werden.

O_2: Da nur sporadisch Sauerstoffmessungen durchgeführt wurden, konnten diese nicht mit in die statistische Ausarbeitung einbezogen werden. Folgende Tendenzen sind jedoch unverkennbar:
Mit zunehmender Teufe ist eine generelle Abnahme bis 0 % O_2-Sättigung feststellbar; schon geringe Menge an Fe^{2+} im Grundwasser bewirken eine O_2-Zehrung; Fe-haltige Grundwässer weisen demnach meist 0 % Sauerstoffsättigung auf.

1.2 Zur horizontalen Differenzierung des Grundwasserchemismus

Die von KRAUSPE (1970) und MÜLLER (1970) festgestellte horizontale Differenzierung des Grundwasserchemismus im gleichen Grundwasserleiter findet im Arbeitsgebiet in mehrfacher Hinsicht einen Höhepunkt und Abschluß. Da aus dem hauptsächlich genutzten Grundwasserstockwerk, das vom Schilfsandstein bis zum Unteren Burgsandstein reicht, Analysen in flächiger Verteilung über das gesamte Gebiet vorliegen, seien im folgenden die Grundwasserchemismen dieses Stockwerkes dargelegt.

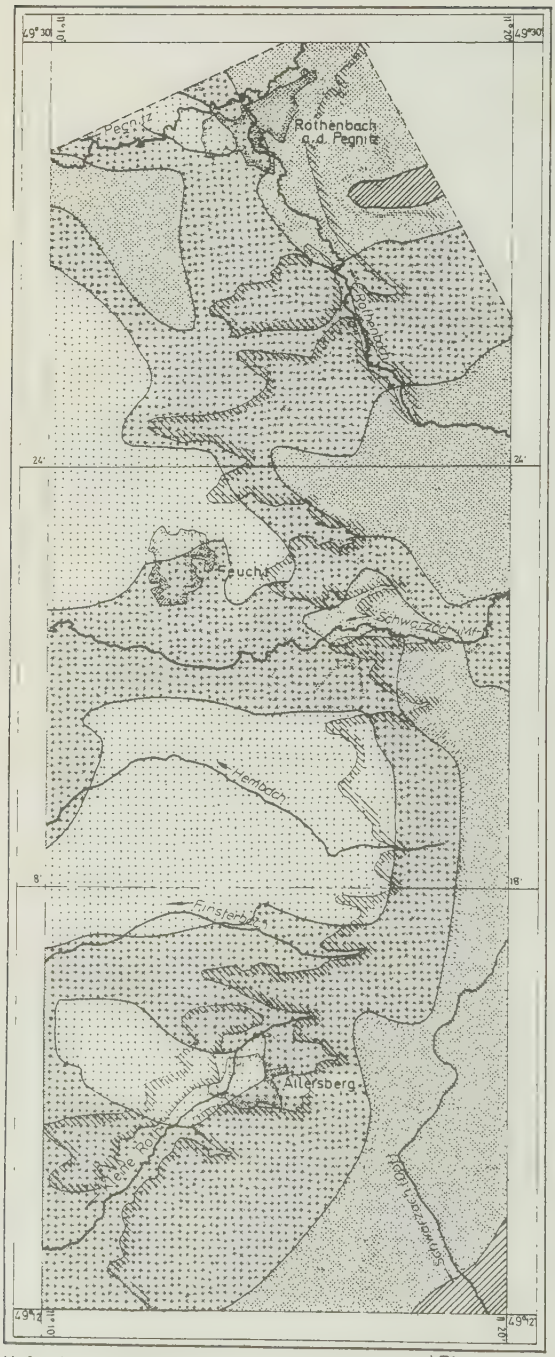
1.2.1 Gesamthärte

Nach Auswertung der hydrochemischen Analysen läßt sich eine deutliche Abhängigkeit der Gesamthärte von der Bedekkung des sandigen Keupers nachweisen: In Bereichen des von Feuerletten nicht bedeckten Keupers sind über weite Flächen, speziell im Gebiet Feucht - Pyrbaum - Allersberg und im Gebiet Feucht - Wendelstein - Fischbach, Gesamthärten von 4° dH die Regel. So werden in dem bezeichneten Raum Grundwässer mit Gesamthärten von zum Teil nur 1,5° dH gefördert. Erst östlich der Ausbißlinie des Feuerlettens - im Bereich des bedeckten Keupers - nimmt die Gesamthärte entsprechend dem Druckgefälle nach Osten und Südosten rasch zu (Abb. 8).

Die rein konstruktiv ermittelte Grenze zwischen den Härtebereichen 4 - 8 und 8 - 12° dH folgt dabei etwas nach Osten verschoben der Westgrenze des bedeckten Keupers. Diese Erscheinung führt zu einer grundlegenden Erkenntnis:

Abb. 8 :

HYDROCHEMISCHE KARTE
C 6730 NÜRNBERG (OSTTEIL)



GESAMTHÄRTE

Hydrochemische Karte
im Bereich des Grundwasserstockwerkes
"Schilfsandstein bis Unterer Burgsandstein"

Darstellung der Gesamthärte in °dH

- 0 – 4 sehr weich
- 4 – 8 weich
- 8 – 12 mittelhart
- 12 – 18 ziemlich hart
- ohne Angabe

Pegnitz Gewässer

Verbreitungsgrenze des bedeckten Sandsteinkeupers

Ortschaft

Maßstab 1 : 100 000

1 0 1 2 3 4 5km

J. Rietzler 1979

Aufgrund einer entschieden erhöhten Grundwasserneubildung im Bereich des nicht bedeckten Keupers findet hier eine stets währende "Verdünnung" des Grundwassers statt. Im Bereich des bedeckten Keupers hingegen erfolgen nur geringe Einspeisungen vornehmlich aus den westlich anschließenden Gebieten. Das Grundwasser kann hier in Wechselwirkung zum umgebenden Gestein treten und nähert sich wohl einem Gleichgewichtszustand.

Die rezent ausgebildete Grenze - von Feuerletten bedeckter Keuper zu nicht bedecktem Keuper - hat somit auf den Grundwasserchemismus, insbesondere die Gesamthärte einen prägenden Einfluß. Insgesamt erreicht die von KRAUSPE (1970, S. 153) für die Grundwässer der Keupersandsteine im Ansbacher Raum erkannte horizontale Abnahme der Gesamthärten nach Osten im Bearbeitungsgebiet ihren Abschluß.

1.2.2 Eisen und Mangan

Im Gegensatz zur oben dargelegten Abhängigkeit der Feuerlettenüberdeckung scheint das Auftreten von Eisen und Mangan, das stets eng miteinander gekoppelt ist, im Grundwasserstockwerk des ks bis kbu von anderen Ursachen geprägt zu sein: Es bilden sich im wesentlichen zwei ESE-WNW streichende Gürtel heraus, die ein deutliches Maximum speziell im Raume nördlich von Feucht aufweisen (Abb. 9).

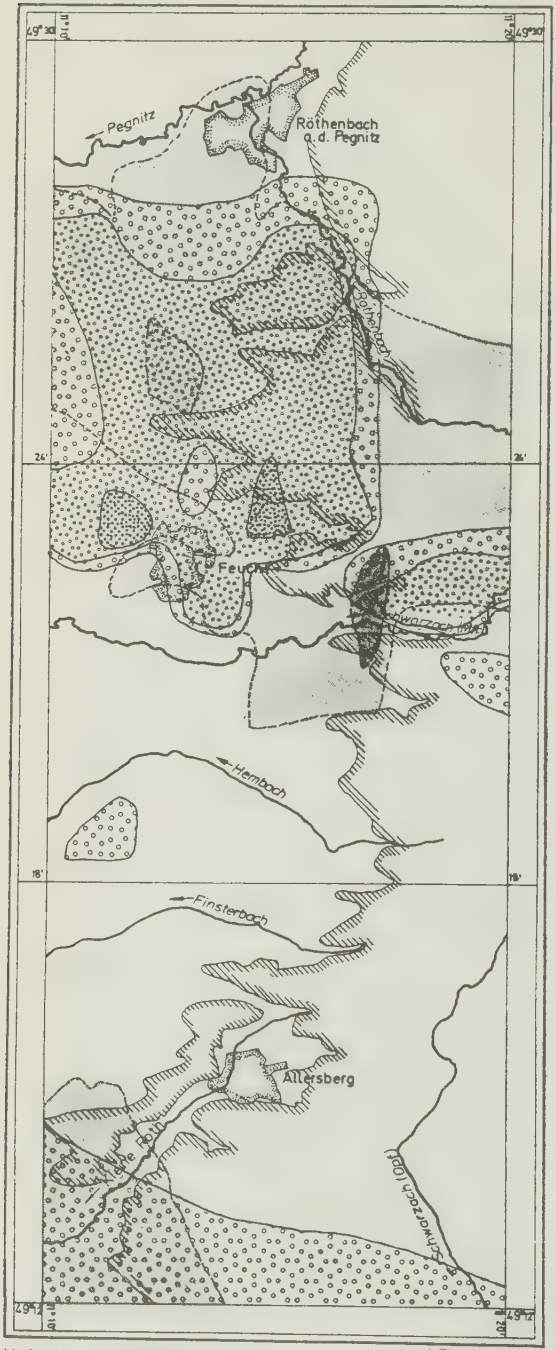
Als Ursache und Lieferanten kommen m.E. nur primär bedingte eisen- und manganhaltige Zonen im Unteren Burgsandstein (vgl. Kap. 3.3.2.1) in Frage. Da in den Bereichen der hohen Eisen- und Manganführung keine Bohrungen zur Verfügung standen, kann derzeit keine bindende Aussage über die Art der geologischen Herkunft getroffen werden.

Der von KRAUSPE (1970, S. 153) berichtete "unverkennbare Anstieg der Fe- und Mn-Gehalte in Richtung Südosten" erreicht im Bearbeitungsgebiet einen Höhepunkt.

1.2.3 Summe Sulfat + Chlorid + Nitrat

Von hohem Interesse erscheint die hydrochemische Karte, die die Summe der im Bearbeitungsgebiet als umweltbedingt anzusehenden Ionen Sulfat, Chlorid und Nitrat (in mval/l) zeigt (Abb. 10). Es läßt sich hieraus folgende Interpretation ableiten:

Abb. 9 :
HYDROCHEMISCHE KARTE
C 6730 NÜRNBERG (OSTTEIL)



Maßstab 1 : 100 000

0 1 2 3 4 5km

J. Rietzler 1979

EISEN UND MANGAN

Hydrochemische Karte
im Bereich des Grundwasserstockwerkes
"Schilfsandstein bis Unterer Burgsands

Darstellung der Eisen- und Mangangehalte in

Eisen	Mangan
0 – 0,2	0 – 0,2
0,2 – 1	0,2 – 1
1 – 10	1 – 10
10 – 20	

Pegnitz — Gewässer

Verbreitungsgrenze des bedeckten Sandsteinkeupers

Ortschaft

Die Grundwässer im Raum Feucht - Altenfurth und Diepersdorf scheinen am meisten belastet zu sein. So sind in Diepersdorf im Keupergrundwasser bis zu knapp 40 mg Nitrat/l nachweisbar; in der nach W gerichteten Abflußfahne von Feucht und Altenfurth sind hohe Chlorideinträge bis zu 50 mg/l ermittelt worden.

Faßt man die genannten Inhaltsstoffe als Markierungen auf, so ist eine entsprechende ortsspezifische vertikale Versickerung anzunehmen (vgl. Kap. 7.3.6.8).

Aufgrund der vertikalen Versickerung und der entsprechenden Grundwasserneubildung findet andererseits auf den horizontal ausgerichteten Stromschläuchen auf nicht bebautem Gebiet eine rasche Verdünnung im Bereich des nicht bedeckten Keupers statt.

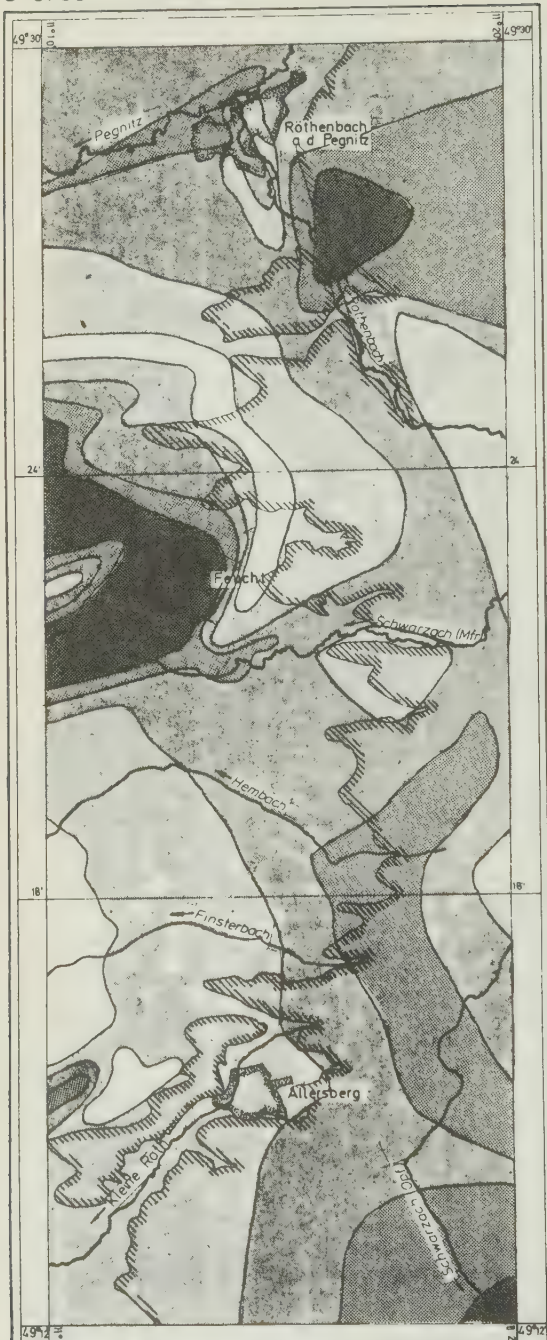
Im Bereich des bedeckten Keupers stellen sich die Verhältnisse wie folgt dar:

Bei einer differenzierten Betrachtungsweise fällt auf, daß nahezu alle Brunnen im randnahen Bereich des bedeckten Keupers Nitrat-Gehalte von ca. 20 bis 40 mg Nitrat/l enthalten (Diepersdorf, Lindelburg, Oberferrieden). Erst in den randferneren Bereichen des bedeckten Keupers ist mit der Abnahme der Nitrat-Gehalte eine Zunahme der Sulfat-Gehalte bis auf 50 mg/l (Freystadt, Opf.) verbunden. In dieser Zone kann somit, legt man die niedrigen Sulfat-Gehalte in den randnahen Bereichen zugrunde, im Gegensatz zum übrigen Bearbeitungsgebiet eine zunehmende geologische Herkunft des Sulfat angenommen werden.

Die Chlorid-Gehalte weisen im gesamten Areal des bedeckten Keupers nur wenig schwankende Werte um 3 - 5 mg/l auf, was auf eine entsprechend niedrige Einspeiserate schließen läßt.

Eine Beurteilung dieser Effekte liegt nahe:
Während das Chloridion - frei von Adsorptionseffekten bzw. Redoxvorgängen - als ein "Durchläufer" bezeichnet werden kann, ist das Nitrat einem langsamen reduktiven Abbau entsprechend der ostwärts gerichteten Grundwassereinspeisung aus dem Oberen Burgsandstein (vgl. Kap. 7.3.5) unterworfen.

Abb. 10:
HYDROCHEMISCHE KARTE
C 6730 NÜRNBERG (OSTTEIL)



Maßstab 1 : 100 000

1 0 1 2 3 4 5km

J. Rietzler 1979

Σ SULFAT + CHLORID + NITRAT

Hydrochemische Karte
im Bereich des Grundwasserstockwerkes "Sch
sandstein bis Unterer Burgsandstein"

Darstellung der umweltbedingten Inhaltsstoffe Sulfat+
Nitrat in m val/l

- 0 –0,25
- 0,25–0,5
- 0,5 –0,75
- 0,75 –1
- >1

Pegnitz — Gewässer

Verbreitungsgrenze des bedeckten Sandsteinkeupers

Ortschaft

3.2 Gipskeuper

(Benker Sandstein bis Lehrbergschichten (kbe - kl)

Die Schichten des Gipskeupers sind allesamt auf den Blättern Röthenbach, Feucht und Allersberg von den mächtigen Sedimenten des Sandsteinkeupers bedeckt und sind nur unvollständig durch Bohrungen erschlossen. Sie treten im Bearbeitungsgebiet mit Ausnahme der Estherienschichten in der sandigen Randfazies auf. Weiter westlich außerhalb des Bearbeitungsgebietes sind markante fazielle Wechsel ersichtlich:

- auf einer nordöstlich verlaufenden Linie Triesdorf - Ansbach - Dietenhofen (v. FREYBERG, 1954, KRAUSPE, 1970, S. 31) kann der Wechsel der sandigen Randfazies des Benker Sandsteins zur tonigen Beckenfazies der Myophorienschichten verfolgt werden;

- auf einer ostnordöstlich verlaufenden Linie Triesdorf - Roßtal - Nürnberg kann ebenso der Fazieswechsel von tonig zu sandig ausgebildeten Lehrbergschichten verfolgt werden (v. FREYBERG 1936, 1954; GRIMM & HOFBAUER 1967, S. 121; MÜLLER 1970; KRAUSPE 1970; BERGER 1978).

Der Deutung von EMMERT (1964, S. 99), MÜLLER (1970, S. 7 - 9) und SCHRÖDER (1972), die westlich einer Linie Schwabach - Wassermungenau eine tonige, östlich dieser Linie eine sandige Fazies der Estherienschichten angeben, kann nur bedingt gefolgt werden. Gering-mächtige feinsandige Einschaltungen sind zwar Hinweis auf das randnahe Ablagerungsmilieu; dennoch sind die Estherienschichten in toniger Ausbildung im Bearbeitungsgebiet, das sich östlich dieses fraglichen Bereiches befindet, ein guter Leithorizont zur Gliederung der Sedimente des Gipskeupers. Dies wird im wesentlichen auch durch die Ausführungen von BERGER (1978, S. 20,21) bestätigt. Charakteristisch ist nach v. FREYBERG (1936, S. 184) und BERGER (1967, S. 9) die spürbare Mächtigkeitsabnahme der Estherienschichten nach Südosten. Hieraus kann im großräumigen Vergleich mit der Sedimentation des Mittleren Keupers in Mittel- und Unterfranken abgeleitet werden, daß sich das Arbeitsgebiet am südöstlichen Rand der tonigen Beckenfazies der Estherienschichten befindet. Feinsandige und geringmächtige Einschaltungen von Estheriensandsteinen sind Hinweise für das beckenwärts gerichtete Oszillieren der Becken- und Randfazies (vergleiche hierzu v. FREYBERG 1936, 1954, 1965).

Im Bearbeitungsgebiet sind aus dem Gipskeuper bisher nur weiche Mischgrundwässer erschlossen worden. In diesem Zusammenhang sei darauf hingewiesen, daß die untere Hälfte des kbe nicht durch Bohrungen erfaßt ist und daß im unmittelbar westlich benachbarten Raum um Roth/Schwabach spürbar erhöhte Mineralsalzgehalte nachweisbar sind (ANDRES, in BERGER 1967, S. 77; BIRZER 1977, S. 192). Ferner sei darauf aufmerksam gemacht, daß in den nördlich und nordöstlich angrenzenden Gebieten Grundwässer mit zum Teil sehr hohen Härtegraden und Salz-Gehalten angetroffen werden (vergleiche hierzu BIRZER 1974).

Der Benker Sandstein bildet ein eigenes Tiefengrundwasserstockwerk aus - unabhängig vom Druckgrundwasserspiegel des Schilfsandsteins und der Lehrbergschichten, die in einem gemeinsamen Grundwasserstockwerk mit den liegenden Teilen des Sandsteinkeupers zusammenfaßbar sind. Während das Grundwasser dieses Stockwerkes den hauptsächlich genutzten Grundwasserleiter des Arbeitsgebietes darstellt, wird das Grundwasser des kbe-Stockwerkes weitgehend in den westlich und nordwestlich angrenzenden Gebieten genutzt (ANDRES 1967, MÜLLER 1970, KRAUSPE 1970).

3.2.1 Benker Sandstein (kbe)

Wie schon oben erläutert, ist von dem ca. 90 m mächtigen Benker Sandstein nur die obere Hälfte, also ca. 50 m, durch Bohrungen erfaßt. In den Gebieten, in denen der Benker Sandstein durch vielfache Bohrungen vollständig erfaßt wurde, ist eine Gliederung in Form einer Vierteilung möglich (v. FREYBERG 1954). Aufgrund der insgesamt nur 6 zur Verfügung stehenden, stets nur Teile des kbe erschließenden Bohrprofile kann nicht beurteilt werden, ob dies auch für das Bearbeitungsgebiet gilt. Im folgenden sei das von mir (RIETZLER 1978) beschriebene Bohrprofil wiedergegeben:

Bohrung Feucht, Brunnen V

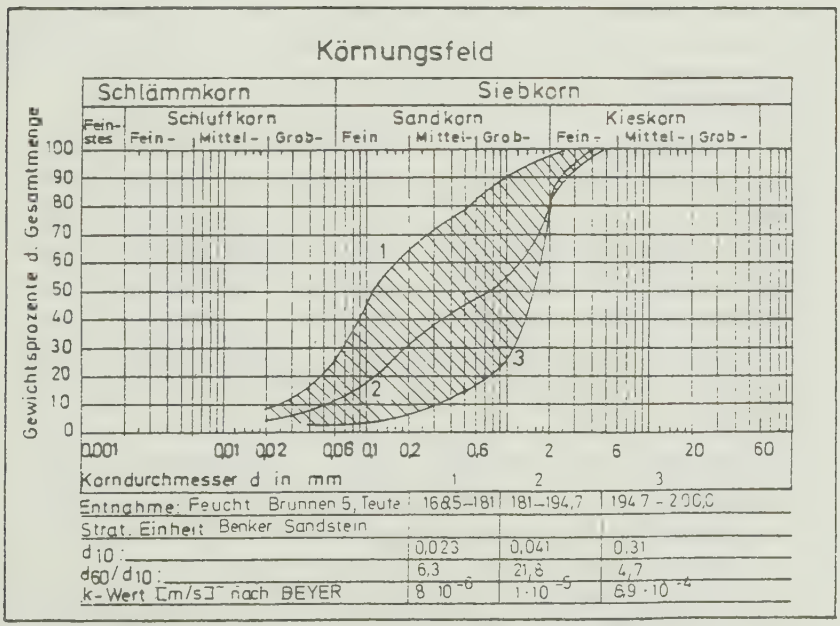
- 157,0 m Ton mit Tonstein, dunkelgrau, Harnische
- 159,7 Ton rotbraun und grau, mittelsandig
- 164,3 mittelsandiger bis feinkiesiger graugelber Sandstein
- 167,0 Sandstein, rotbraun und grau, Beimengungen von gerundetem Quarzgrobkies bis 24 mm Ø, tonig
- 168,5 Ton, rotbraun und grau, fein- bis mittelsandig
- 187,0 Sandstein, fein- bis grobsandig, tonig, rotbraun und grau
- 194,7 Sandstein, feinsandig bis feinkiesig, tonig, rotbraun und grau
- 204,0 Sandstein, grobsandig bis feinkiesig, grau, graue und rote Tonlinsen

(Endteufe)

Während die Abgrenzung der Estherienschichten, die bis 159,7 m reichen, zunächst eindeutig ist, fällt eine Untergliederung des Benker Sandsteines schwer. Sicherlich wurden die Abteilungen C und D des kbe erschlossen. Folgt man der Argumentation von SCHRÖDER (1972) und HAUNSCHILD et al (1977), so müßte der Sandstein zwischen 159,7 und 167 m dem basalen und versandeten Teil der Estherienschichten zugehören und eventuell der Ton zwischen 167,0 und 168,5 m ein Äquivalent des Acrodus-Corbula-Horizontes darstellen. Da zur Stützung dieser Argumentation jedoch zu wenig Bohrungen zur Verfügung stehen, wird im folgenden das Prinzip einer im Bearbeitungsgebiet noch tonigen Ausbildung und einer Mächtigkeitsabnahme mit Näherung an den Beckenrand der Estherienschichten angenommen. Es wird ferner auf die Argumentation v. FREYBERG (1936, 1954) hingewiesen, die für eine Untergliederung des Keupers fazielle und nicht zeitliche Grenzen nahelegt.

Die aus nachfolgender Abb. 11 erkennbare Korngrößenzunahme mit zunehmender Teufe stimmt gut mit der von v. FREYBERG (1965, S. 130 - 145) beschriebenen Sedimentation der stratigraphischen Einheiten des Mittleren Keupers von Mittel- und Unterfranken überein.

Abb. 11:



Sie entspricht ferner der Aussage von GRIMM & HOFBAUER (1967, S. 121 - 123), die ebenfalls für den Nürnberger Raum mit zunehmender Teufe eine Korngrößenzunahme feststellten.

Gefügekundliche Untersuchungen mit dem Rasterelektronenmikroskop, im folgenden kurz REM genannt+, sowie röntgenographische Aufnahmen mit dem Diffraktometer+ weisen einen tonig (Kaolinitgruppe, vergleiche hierzu SALGER 1959) gebundenen Quarzsandstein nach mit geringen und gleichen Anteilen an Calcit und Dolomit (vergleiche hierzu **Tafel**, Abb. 17, 18). Mit dem von KRAUSPE (1970, S. 28) für den Ansbach - Heilsbronner Raum beschriebenen kbe bestehen große Übereinstimmungen in Bezug auf die gefügekundliche und petrographische Ausbildung der Kornfraktionen.

Zur Hydrochemie

Die im folgenden wiedergegebene Analyse gibt den Mittelwert von sich nicht signifikant voneinander unterscheidenden Beprobungen wieder (Feucht, Brunnen 5: Mischwasseranalyse bei 170 m und 204 m Teufe):

Tab. 2 Grundwasserchemismus bei Erfassen des Benker Sandsteins

	Mittelwert	Standardabw.		Mittelwert	Standardabw.
spez. Ergiebigkeit (l/s . m)	0,67	0,27	HCO_3 (mg/l)	115	40,0
Temperatur °C	10,6	0,3	SO_4 (mg/l)	8,0	5,3
Leitf. (mS/m)	17,5	7,5	Cl (mg/l)	3,5	0,9
			NO_3 (mg/l)	7,7	0,7
			NH_4 (mg/l)	0,05	
pH-Wert	7,15	0,18	PO_4 (mg/l)	0,21	0,1
Ca (mg/l)	23,7	8,7	F (mg/l)	0,13	0,0
Mg (mg/l)	7,5	3,2	SiO_2 (mg/l)	7,6	1,9
Na (mg/l)	3,1	1,1	zug. CO_2 (mg/l)	1,25	0,9
K (mg/l)	5,9	1,8			
Fe (mg/l)	0,10	0,06	Sätt.Ind.	-1,35	0,5
Mn (mg/l)	0,29	0,10	O_2-Gehalt %-Sätt.	0	
Ges.Härte °dH	5,0	3,4			
Karb.Härte °dH	5,0	1,9			

+ Den Herren Dr. SNETHLAGE und Prof. KLEMM vom Geologischen Institut der Universität München sei für ihre freundliche Unterstützung bei den Aufnahmen herzlichst gedankt.

Wie im Kap. 2.2 erläutert, wurden zur Auswertung des umfangreichen Datenmaterials statistische Rechenverfahren angewendet, um quantitative Aussagen über hydrochemische Zusammenhänge zu erhalten. Aus den Mischwasseranalysen ergibt sich ein in seiner Zusammensetzung konstant weiches Wasser mit den gleichsinnig und signifikant korrelierenden Hauptkomponenten Ca - Mg - HCO_3. Entsprechend der kumulativen Eigenwertbildung der Faktorenanalyse trägt die Erfassung der ersten 3 Hauptkomponenten zu 80,4 %, die Erfassung von 4 Komponenten zu 87,7 % und die Erfassung von 6 Komponenten zu 97,4 % zur Aussage über die Charakterisierung des Grundwassers bei. In anderen Worten werden die Hauptmerkmalseigenschaften dieses Grundwassers zu 80,4 % von den 3 genannten Hauptkomponenten getragen.

Im folgenden wird die Ausbildung eines derartigen Grundwassers kurz als Ca-Mg-HCO_3-Wasser bezeichnet.

In hoher Korrelation sind den genannten Hauptkomponenten die errechnete zugehörige Kohlensäure nach der von HÄSSELBARTH (1963) korrigierten TILLMANN'schen Gleichung und dem ebenfalls von HÄSSELBARTH (1963) korrigierten Sättigungsindex nach STROHECKER/LANGELIER zugeordnet.

Im Vergleich zu den anderen im Bearbeitungsgebiet erschlossenen Grundwässern des Mittleren Keupers ist die Differenz des Gleichgewichts-pH-Wertes mit dem gemessenen pH-Wert (= Sättigungsindex) gering.

Na, K und SO_4 sind meist im Umfeld der Hauptkomponenten höherer Ordnung vertreten und Hinweis auf deren gegenseitige Zuordnung. Hervorzuheben sei in diesem Zusammenhang die besonders hohe Korrelation des K mit dem SO_4 und das Überwiegen des K gegenüber dem Na. Zusammenhänge des SiO_2 mit dem Na und K, wie sie MISEREZ (1970, S. 161 - 181) zeigte, konnten nicht nachgewiesen werden.

Die Grundwässer des kbe weisen stets geringe Gehalte an aggressiver Kohlensäure und an Mangan sowie einen Sauerstoffunterschuß auf. Fe konnte nur in wenigen Bohrungen überhaupt nachgewiesen werden. Insgesamt beinhaltet der im Bearbeitungsgebiet praktisch ungenutzte Grundwasserleiter des kbe ein Grundwasser von hoher Güte, das einer zumeist geringfügigen Aufbereitung bedarf (Belüftung).

Als nachteilig müssen die erhöhten Erschließungskosten angesehen werden, die notwendig sind, um die Gewässer des kbe zu erfassen (Abstand des kbe unter Flur mindestens ca. 120 - 160 m).

3.2.2 Schilfsandstein (ks) und Estherienschichten (ke)

Ganz oder teilweise erschlossen sind die Estherienschicht und der Schilfsandstein im Bearbeitungsgebiet durch insgesamt 17 Tiefbohrungen. Obwohl die beiden stratigraphisc Einheiten eine unterschiedliche sedimentologische Ausbildung aufweisen, seien sie in einem Kapitel zusammengefaßt Gemeinsam ist beiden die speziell westlich des Arbeitsgebietes insgesamt gleiche Gesamtmächtigkeit bei unterschiedlichen Einzelmächtigkeiten. Ursache ist die von THÜRACH (1888), KRAUSPE (1970, S. 38 - 44) und HAUNSCHILD (1977, 1978) nachgewiesene erosive Tätigkeit der Flutfazies des Schilfsandsteines auf Kosten der Estherienschichten.

Zur Gesteinsausbildung der Estherienschichten

Wie oben erläutert, bilden die Estherienschichten durch ihre tonige Beckenfazies den Grundwasserstauer des Hauptgrundwasserstockwerkes des ks - kbu aus. Die Gesteinszusammensetzung kann aus folgender Bohrbeschreibung ersehen werden:

Bohrung Feucht, Brunnen 5 (RIETZLER 1978)

- 140,0 mittelsandiger Ton, rotbraun und grau
- 143,2 Sandstein, hellgrüngrau, rote Tonschlieren, feinsandig
- 146,0 feinsandiger Sandstein und Ton, rotbraun und weißgrau
- 146,5 feinsandiger Sandstein, braungrau, weißgrau
- 148,2 feinsandiger Sandstein und Ton, weißgrau, rotbra
- 150,4 Tonstein, dunkelgrau
- 151,0 Schieferton, grau, hart
- 152,5 feinsandiger Sandstein und Ton, grau, sehr hart
- 157,0 Ton mit Tonstein, dunkelgrau, Harnischflächen
- 159,7 Ton, rotbraun und grau, mittelsandig

Deutung: bis 140,0 kl
bis 148,2 ks
bis 159,7 ke

Das Schichtglied zwischen Kote 157,0 und 159,7 kann als Äquivalent der Acrodus-Corbula-Bank angesehen werden. Wie schon oben erläutert, werden die im Liegenden auftretenden Sandsteine faziell dem Benker Sandstein zugerechne Sandsteineinschaltungen, wie sie in den Bohrungen Feucht, Brunnen 5, Brunn, Brunnen VB 1 und VB 2, Rübleinshof bei Burgthann und Wendelstein, Brunnen 1 jeweils im mittleren

Bereich der sonst tonig ausgebildeten Estherienschichten angetroffen wurden, sind Hinweis für das küstennahe Ablagerungsmilieu. Die Sandsteineinschaltungen sind meist grau, feinsandig, sehr hart und calcitisch gebunden. Die von BERGER (1967) konstruierte Karte, in der eine Mächtigkeitsabnahme der Estherienschichten in Richtung Südosten (Erlangen 40 m, Nürnberg 20 m) dargestellt ist, kann voll bestätigt werden; die Mächtigkeit dürfte im südöstlichen Bereich des Bearbeitungsgebietes nur noch ca. 10 m betragen.

Gestört wird diese südostwärts gerichtete Mächtigkeitsabnahme der Estherienschichten lediglich südwestlich des Arbeitsgebietes durch einen nordwestlich gerichteten "Rezatsporn" (siehe KRAUSPE 1970, S. 24, 36), der einen Einschnitt des erosiven Systems der Flutfazies des Schilfsandsteins in die Estherienschichten bedeutet.

Zur Gesteinsausbildung des Schilfsandsteins (ks)

Kennzeichnend für den Schilfsandstein ist dessen bereits von THÜRACH (1889) erkanntes Auftreten in zwei unterschiedlichen faziellen Erscheinungsformen: Der Stillwasserfazies und der Flutfazies. Über die Genese herrschen unterschiedliche Meinungen, die bereits von BERGER (1978) im wesentlichen dargelegt wurden.

Die im Arbeitsgebiet erfaßten Ablagerungen des Schilfsandsteins sind mit Ausnahme einer von BIRZER (1977, S. 190) vorgestellten Schilfsandsteinrinne in der Stillwasser-, d.h. Normalfazies abgelagert. Ein Rinnensystem, wie es von KRAUSPE (1970, S. 43) für den Großraum Ansbach dargelegt wurde, kann somit für das Bearbeitungsgebiet nicht vorgestellt werden.

Die maximale Mächtigkeit dieses Schichtgliedes beträgt in der von BIRZER beschriebenen Rinne ca. 15 m, im übrigen sind Mächtigkeiten um 5 - 10 m nachweisbar. Von den überlagernden meist kräftig rot gefärbten Lehrbergschichten unterscheidet sich die Normalfazies des Schilfsandsteins durch einen weißen bis hellgrünlichen Feinsandstein mit hellen tonigen Einschaltungen.

Zur Hydrochemie

Der im folgenden wiedergegebene Chemismus wurde nach Auswertung von 25 Mischwasseranalysen (Beprobung von 17 Brunnen mit Zeitreihen Schwarzenbruck Brunnen 4, Feucht Brunnen 5) erhalten.

Tab. 3 Mischgrundwasserchemismus bei Erfassen des Schilfsandsteins

	Mittelwert	Standardabw.		Mittelwert	Standardabw
spez. Ergiebigkeit (l/s · m)	0,90	0,38	HCO_3 (mg/l)	116	44,4
			SO_4 (mg/l)	8,0	6,5
Temperatur °C	10,6	0,7	Cl (mg/l)	4,4	1,9
Leitf. (mS/m)	17,5	7,1	NO_3 (mg/l)	2,7	5,8
			NH_4 (mg/l)	0,06	0,02
pH-Wert	7,13	0,35	PO_4 (mg/l)	0,27	0,26
Ca (mg/l)	27,7	12,4	F (mg/l)	0,14	0,11
Mg (mg/l)	8,1	3,9	SiO_2 (mg/l)	6,8	2,3
Na (mg/l)	2,1	1,8	zug. CO_2 (mg/l)	1,6	1,4
Fe (mg/l)	0,70	0,27	Sätt.Ind.	-1,3	0,7
Mn (mg/l)	0,19	0,23	O_2-Gehalt (%=Sätt.)	30	
Ges.Härte °dH	5,7	2,6			
Karb.Härte°dH	5,3	2,0			

Hauptkomponenten sind Ca, Mg undHCO_3; gegenüber dem Mischgrundwasser, das den Benker Sandstein erfaßt, wird im Mittel ein geringfügig härteres Mischwasser gefördert. Auffallend ist im Vergleich zum kbe das Überwiegen der Gesamthärte über die Karbonathärte und die höheren Fe-Gehalte mit einem Durchschnittswert von 0,7 mg/l. Allerdings ist dieser Wert durch die hohen Gehalte der Brunnen um Feucht erklärbar. Für das übrige Bearbeitungsgebiet lassen sich Durchschnittswerte von 0,14 mg Fe/l errechnen.

Die Auswertung des Grundwasserchemismus mit Hilfe der Faktorenanalyse ergibt keine so eindeutigen Zuordnungen wie dies bei den Wässern des kbe festgestellt wurde. Zwar läßt sich erneut eine hohe Korrelation eines Ca-Mg-HCO_3-Wassers mit dem Sättigungsindex und der zugehörigen Kohlensäure ableiten, die Abweichungen sind jedoch erheblich. Dies wird durch die kumulative Eigenwertbildung der Faktorenanalyse ausgedrückt: Bei Erfassung von drei Hauptkomponenten sind nur noch 64% der Merkmalseigenschaften errechnet. Weder mit der Faktorenanalyse noch mit den anderen ausgeführten statistischen Rechnungsverfahren konnten weitere hydrochemische Beziehungen festgestellt werden. Hinzuweisen wäre noch auf die in Abb. 7 dargestellten Än-

derungen des Ca/Mg-Verhältnisses zugunsten des Ca im Vergleich zu den im Hangenden folgenden Mischwässern des Grundwasserstockwerkes des ks - kbu.

2.3 Lehrbergschichten (kl)

Die Lehrbergschichten stellen die jüngste Einheit des Gipskeupers dar und sind im Bearbeitungsgebiet in der sandigen Randfazies ausgebildet. Die tonige Beckenfazies verläuft im Bereich der westlichen Anschlußblätter Nürnberg, Schwabach, Roßtal, Heilsbronn und Windsbach in insgesamt welliger ostnordöstlicher Richtung.

Die Lehrbergschichten sind im Bearbeitungsgebiet als ein wechselvoll geschüttetes Schichtpaket mit wenig durchhaltenden Letten- und Sandsteinhorizonten abgelagert. Charakteristisch ist die meist deutliche rote und grüne Färbung der Sedimente. In Anlehnung und Übereinstimmung mit BERGER (1978, S. 27) wurde für die Konstruktion der Streichlinienkarte (Abb. 3) und der Profilserien (Anlage 1) die Unterkante der ersten Sandsteinbank im Hangenden eines roten Lettenhorizontes als Obergrenze gewählt. Die Untergrenze ist dokumentiert durch den Übergang zu meist hellen feinsandigen Sedimenten des ks in seiner Normalfazies. Insgesamt ist von Nordwesten nach Südosten die Tendenz einer Mächtigkeitsabnahme unverkennbar: Während im Nürnberger Raum noch Mächtigkeiten bis zu 40 m nachweisbar sind, nehmen diese gegen Südosten auf knapp 25 m ab.

Folgendes Bohrprofil gibt Einblick in den Aufbau der kl:

Bohrung Schwarzenbruck Brunnen 3:

- 106,5 m	calcitisch-dolomitisch gebundener Sandstein, hellgrau
- 108,0	grünroter Ton
- 110,5	mittelsandiger bis grobsandiger Sandstein, braunrot
- 113,0	grüner und roter Ton
- 116,2	mittelsandiger bis feinkiesiger Sandstein, hellbraun, rötlich
- 117,0	grünroter Letten
- 121,0	dolomitisch gebundener, sehr harter heller Sandstein, mittel- bis grobsandig
- 123,5	dunkelroter, sandiger Ton, kaolinisierte Feldspäte
- 124,5	mittelsandiger bis feinkiesiger Sandstein, hellbraun, rötlich
- 130,5	dolomitisch gebundener, sehr harter, hellgrauer bis roter Sandstein, mittel- bis grobsandig; im Hangenden rote und grüne Tone
- 131,8	Sandstein, mittelsandig bis feinkiesig, hellbraun, tonig
- 134,0	heller grünroter feinsandiger Ton

Deutung: bis 106,5 m Blasensandstein im weiteren Sinne
bis 131,8 m Lehrbergschichten

Es handelt sich somit im wesentlichen um einen fein- bis grobsandigen rötlichen Sandstein mit kaolinisierten Feldspäten. In röntgendiffraktometrischen Aufnahmen der Bohrungen Feucht Brunnen 5 und Schwarzenbruck Brunnen 4 sind nur noch geringe Feldspatanteile ersichtlich, so daß mit einer nahezu vollständigen Kaolinisierung zu rechnen ist. Die Aufnahmen ergaben einen wechselnd tonig und dolomitisch gebundenen Quarzsandstein. Die dolomitischen Lagen werden von geringen calcitischen Beimengungen begleitet.

Die REM-Aufnahmen der Spülsedimente der Bohrung Feucht Brunnen 5, Teufe 134,6 - 136,5 m erbrachten das zunächst nicht genau identifizierbare Auftreten vollständig erhaltener sekundär gesprosster Kristallite (Tafel, Abb. 13 - 16). Da ein röntgenographischer Nachweis durch das starke Überwiegen von begleitendem Dolomit, Quarz und Ton nicht möglich war, konnte eine kristallographische Auswertung nur durch die Bestimmung der Kristallwinkel und Indizierung der einzelnen Flächen erfolgen.+ Der in Abb. 13 und 14 dargestellte Kristall dürfte der rhombisch-pyramidalen Kristallklasse angehören und aufgrund seines Habitus, des Bruches und der Spaltbarkeit als Anhydrit anzusprechen zu sein. Die aus Tafel, Abb. 15, 16, ersichtlichen Kristallite weisen eine monokline Ausbildung auf. Nach Vermessung des Winkels ß, der im Schnitt 115 - 119° beträgt, kommt Gips den Vorstellungen am nächsten.

Treffen die genannten, vorerst hypothetischen Bildungen zu, so ergeben sich zwei Deutungen zur Genese:

- GRIMM (1962, S. 590 - 619) beschreibt das Auftreten von authigenem Quarz, der beim Aufeinandertreffen von kieselsäurehaltigen Lösungen auf elektrolytreiche und hier vor allem auf sulfatische Lösungen entsteht. GRIMM weist ferner darauf hin, daß entsprechende authigene Bildungen unter anderem im Mittleren Keuper (Gipskeuper) nachweisbar sind. Folgerung wäre, daß die genannten kristallographischen Ausbildungen Quarzpseudomorphosen nach Gips bzw. Anhydrit sind.

- eine weitere Möglichkeit wäre das Auftreten kaum zirkulierender Porenwässer, die an Sulfat gesättigt sind und dadurch Gips oder Anhydrit vor der Auflösung bewahren.

Da letztere Möglichkeit aufgrund der im Kap. 3.6.1.2 nachgewiesenen hydraulischen Wirksamkeit der Keupersandstein-Porenwässer nahezu ausgeschlossen werden kann, erscheint meines Erachtens nur die erstere Hypothese wahrscheinlich. Von grundsätzlicher Bedeutung für die Genese der Lehrbergsandsteine ist in Verbindung mit dem steten Auftreten von nicht durchhaltenden Tonen, deren endseenreiches und salinares Ablagerungsmilieu.

+ Herrn Prof. Schröcke, Institut für Kristallographie und Mineralogie der Universität München, sei für die Hinweise gedankt.

Zur Hydrochemie

Es konnten 28 Brunnen im Bearbeitungsgebiet beprobt werden, die Mischwasser u. a. aus den Lehrbergschichten fördern. Mit herangezogen wurden die Zeitreihen der Brunnen Schwarzenbruck und Feucht, so daß 37 Analysen zur Auswertung kamen.

Tab. 4 Mischgrundwasserchemismus bei Erfassen der Lehrbergschichten

	Mittelwert	Standardabw.		Mittelwert	Standardabw.
Spez. Ergiebigkeit (l/s · m)	0,92	0,40	HCO_3 (mg/l)	103	44,5
			SO_4 (mg/l)	7,0	5,9
Temperatur °C	10,4	0,7	Cl (mg/l)	4,1	1,9
Leitf. (mS/m)	18,5	15,8	NO_3 (mg/l)	2,3	4,9
			NH_4 (mg/l)	0,07	0,04
pH-Wert	7,11	0,53	PO_4 (mg/l)	0,26	0,24
Ca (mg/l)	23,9	11,9	F (mg/l)	0,16	0,13
Mg (mg/l)	7,4	3,8	SiO_2 (mg/l)	7,1	2,3
Na (mg/l)	1,8	1,6	zug. CO_2 (mg/l)	1,2	1,3
K (mg/l)	4,0	1,9			
Fe (mg/l)	1,04	2,87	Sätt.Ind.	-1,5	0,8
Mn (mg/l)	0,20	0,25	O_2-Gehalt (%-Sätt.)	30	
Ges.Härte °dH	5,04	2,54			
Karb.Härte °dH	4,73	2,04			

Aus der Durchschnittsanalyse ist ersichtlich, daß im Bearbeitungsgebiet, wie bereits bei den anderen Schichten des sandigen Gipskeupers, ein weiches Ca-Mg-HCO_3-Wasser mit jeweils hohen und gleichsinnigen korrelativen Faktorenladungen gefördert wird. Wie schon in dem vorhergehenden Abschnitt erläutert, ergeben die hohen Eisengehalte ein für das Bearbeitungsgebiet verfälschendes Ergebnis infolge des Fe-Maximums bei Feucht. Bleiben diese Werte unberücksichtigt, ergeben sich im Schnitt Fe-Gehalte um 0,12 mg/l.

Im Zusammenhang mit den oben zur Genese angeschnittenen Fragen interessieren besonders die Sulfat-Gehalte. Vergleicht man zunächst einmal die in Abb. 7 dargestellten Durchschnittsanalysen aller Grundwasserleiter des Mittleren Keupers, so fällt auf, daß die Mischwässer der die Lehrbergsandsteine erfassenden Brunnen die niedrigsten SO_4-

Gehalte aufweisen; dies bestätigt zunächst einmal die oben geäußerte Deutung zur Genese.

Mit Hilfe der Faktorenanalyse ergeben sich in den ersten drei Faktoren jeweils niedrige Ladungen des SO_4 bei entsprechend geringen signifikanten Zusammenhängen. Erst bei Faktoren niederer Ordnung treten dann erhöhte Ladungen des SO_4 mit + 0,53 und gleichsinnig des K (+ 0,73) und des Na^+ (+ 0,93) auf. Wenn überhaupt ursächliche Zusammenhänge zwischen dem Auftreten von Sulfat und anderen in Lösung befindlichen Ionen nachweisbar sind, so ist es das gemeinsame Auftreten von Na, K und SO_4.

Da das Auftreten entsprechender Verbindungen zwischen Na und K mit SO_4 unwahrscheinlich ist, müssen sekundäre hydrochemische Reaktionen wie Ionenaustausch innerhalb des Sedimentgefüges angenommen werden.

Die Herkunft des Na und K dürfte geologisch bedingt sein, da keinerlei Korrelationen mit dem Cl feststellbar sind. Geht man von der Überlegung aus, daß die geringen SO_4-Mengen aus Gips-führenden und praktisch undurchlässigen Tonen und Zwischenletten durch Migration in den Sandstein verfrachtet werden, so sind Ionenaustauschvorgänge nach dem Schema

$$Ca^{2+} + SO_4^{2-} + (Na, K)\,A \rightleftharpoons Ca\,A + K^+ + Na^+ + SO_4^{2-}$$

denkbar.
Auffallend ist ferner das Überwiegen von K gegenüber dem Na.

3.3 Sandsteinkeuper

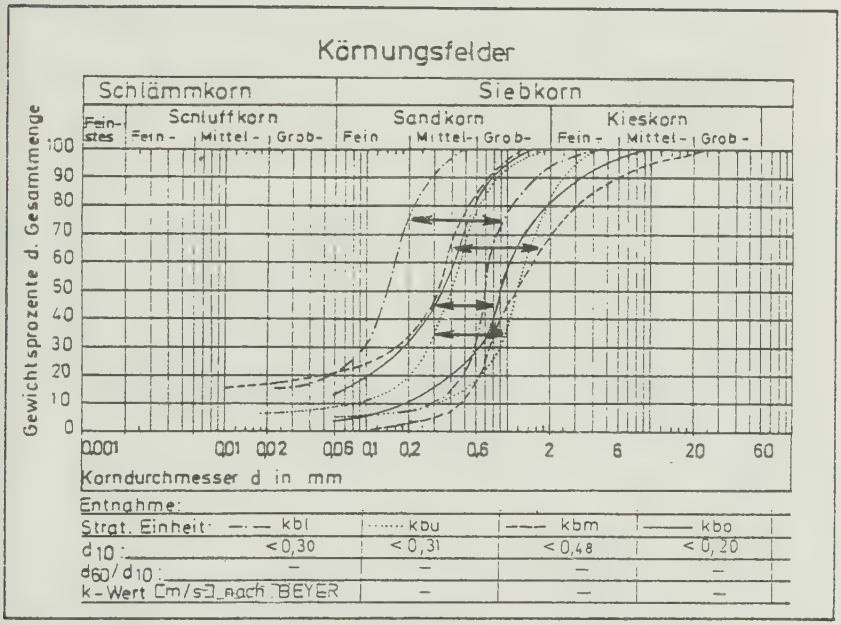
(Blasensandstein i.w.S. bis Oberer Burgsandstein, kbl - kbo

Die Schichten des Sandsteinkeupers stellen im mittelfränkischen Raum neben den versandeten Serien des Gipskeupers den Hauptgrundwasserleiter dar. Die volle Mächtigkeit beträgt ca. 120 - 130 m. Bedingt durch das geringe ostwärtige Einfallen (siehe Abb. 3) sowie durch erosive Abtragung stehen nach Osten zu immer jüngere Schichtglieder des Sandsteinkeupers an:

Während dieser westlich einer Linie Ansbach - Neustadt a.A. auskeilt, nimmt seine erhaltene Mächtigkeit kontinuierlich bis zum Erreichen der Rednitz zu, um dann bis zur Fränkischen Alb im Bearbeitungsgebiet rasch seine volle Mächtigkeit zu erlangen. Während die Untergliederung des ober-

Abb. 12: Körnungsfelder der Sandsteine des Sandsteinkeupers

Abb. 12:



Blasensandstein (kbl)
Entnahme: Brunnen 5/ Feucht, Schwarzenbruck, Heuberg (RMD)

Unterer Burgsandstein (kbu)
Entnahme: Feucht, Schwarzenbruck, Unterferneden I u. II, Diepersdorf, Heuberg (RMD)

Mittlerer Burgsandstein (kbm)
Entnahme: Feucht, Schwarzenbruck, Schönberg, Diepersdorf, Heuberg (RMD)

Oberer Burgsandstein (kbo)
Entnahme: Heuberg (RMD)

flächlich anstehenden Sandsteinkeupers aufgrund der vom Bayer. Geologischen Landesamt in der Nachkriegszeit vorbildlich durchgeführten Neuaufnahme ohne weiteres möglich ist, bereitet die Deutung des nur durch Bohrungen erfaßten Sandsteinkeupers infolge des Auftretens von nicht durchhaltenden Zwischenletten und von Mächtigkeitsschwankungen erhebliche Schwierigkeiten. Im folgenden Text sowie in den Karten und Profilserien werden im allgemeinen die von BERGER (1978) veröffentlichten Deutungen übernommen.

Eine weitere Schwierigkeit stellt der aufgrund von häufig durchhaltenden Basisletten zum Teil ausgeprägte Grundwasserstockwerksbau dar. So können im Bearbeitungsgebiet in nahezu allen stratigraphischen Einheiten lokal eigene Grundwasserstockwerke nachgewiesen werden. Aus Vereinfachungsgründen werden im folgenden die Grundwässer des ks und kl mit den Grundwässern des kbl und kbu als ein gemeinsames Grundwasserstockwerk zusammengefaßt, die Grundwässer des kbm und kbo als ein weiteres eigenes Stockwerk.

3.3.1 Blasensandstein i.w.S. (kbl)

Da der Blasensandstein im Arbeitsgebiet nur durch Bohrungen erfaßt ist und - wie oben erläutert - eine stratigraphische Deutung der Bohrprofile zum Teil erhebliche Schwierigkeiten bereitet, werden im folgenden der Coburger Sandstein und der Blasensandstein i.e.S. zusammengefaßt. Die Gesamtmächtigkeit dieser Schichtglieder beträgt ca. 30 - 35 m. Die Mächtigkeitsschwankungen sind stets lokal bedingt und nicht, wie von KRAUSPE (1970, S. 59, 60) für das Gebiet um Ansbach dargelegt, richtungsabhängig.

Folgendes Profil gibt einen typischen Aufbau des kbl i.w.S. wieder:

Bohrprofil Rückersdorf Brunnen 4

- 88,0 m helle grünlichgraue, fein- bis mittelsandige Letten
- 91,2 sehr harter dolomitsch gebundener Sandstein hellgrau
- 95,7 Wechselfolge von dolomitisch gebundenem Sandstein mit hellgrauen feinsandigen Letten
- 103,0 dunkelgraue Letten, feinsandig
- 107,2 grauer, mittelsandiger bis feinkiesiger Sandstein, dolomitisches und calcitisches Bindemittel
- 108,0 graue Letten
- 114,0 grauer, mittelkörniger Sandstein, dolomitisches Bindemittel, hart

- 118,0 Wechselfolge von hellen Letten mit grauen, mittelsandigen bis feinkiesigen Sandsteinen; Beimengungen von Quarzgrobkies (28 mm Durchmesser)
- 121,0 dunkle, rotbraune, mittelsandige Letten

Deutung: bis 88,0 m Unterer Burgsandstein;
bis 118,0 m Blasensandstein i.w.S., wobei der Coburger Sandstein bis ca. 103 m reicht und der tiefere Teil der Bohrung bis 118 m dem kbl i.e.S. entspricht;
ab 118,0 m Hangendes der sandig ausgebildeten Lehrbergschichten Gipskeupers

Aufgrund eigener Untersuchungen an den Bohrungen Feucht und Schwarzenbruck sowie nach Angaben der RMD, Nürnberg, und nach BERGER (1978, Beilage 3) handelt es sich bei dem kbl um einen meist hellen, dolomitisch und kieselig gebundenen, feinsandigen bis grobsandigen Sandstein, wechselnd mit ebenfalls hellen, nicht durchhaltenden Lettenhorizonten. Deutlich wird der Übergang zum kbu durch die Ausbildung eines häufig sehr harten, dolomitisch gebundenen weißen Sandsteins, der ein Äquivalent des Coburger Sandsteins ist, angezeigt. Die von BERGER (1978) postulierte fazielle Untergliederung des kbl i.w.S. in den Coburger Sandstein und den Blasensandstein i.e.S. trifft nur für Teile des Bearbeitungsgebietes zu.

Diffraktometrische Aufnahmen an den Bohrungen Feucht und Schwarzenbruck weisen ferner nach, daß zwar das Quarz/Feldspatverhältnis in etwa dem des Burgsandsteins entspricht. Dolomitisches Bindemittel überwiegt jedoch im kbl i.w.S. in hohem Maße. Die von KRAUSPE (1970, S. 60) für den Ansbacher Raum festgestellte Zunahme der sandigen Anteile in südöstlicher Richtung dürfte weitgehend schon im Raum Roth/Schwabach vollendet sein und trifft somit für das Bearbeitungsgebiet nicht mehr zu.

Erwähnenswert sind die ebenfalls von KRAUSPE (1970, S. 63, 70) dargelegten Eisen- und Manganausfällungen in Kluftflächen und Anreicherungshorizonten; sie werden von BERGER (1978, S. 34, 38) ebenso für den Raum um Nürnberg beschrieben. Es kann angenommen werden, daß sich dieses Merkmal bis in das Bearbeitungsgebiet fortsetzt als Hinweis auf Eisen- und Mangan-mobilisierende Redoxvorgänge im kbl.

Zur Hydrochemie

Die folgende Analysentabelle ist ein Durchschnittswert von 70 Mischwasserproben, die der Grundwasserentnahme aus 60 Brunnen entsprechen (+ Zeitreihen Feucht Brunnen 5, Schwarzenbruck Brunnen 4). Der Blasensandstein ist demnach neben dem Unteren Burgsandstein der am häufigsten beanspruchte Grundwasserleiter im Bearbeitungsgebiet.

Tab. 5 Mischgrundwasserchemismus bei Erfassen des Blasensandsteins

	Mittelwert	Standardabw.		Mittelwert	Standardabw
Spez. Ergiebigkeit (l/s)	1,03	0,58	HCO_3 (mg/l)	103	57,5
			SO_4 (mg/l)	11,2	11,6
Temperatur °C	10,5	0,9	Cl (mg/l)	5,62	6,43
Leitf. (mS/m)	18,7	12,8	NO_3 (mg/l)	3,1	4,7
			NH_4 (mg/l)	0,06	0,04
pH-Wert	6,84	0,68	PO_4 (mg/l)	0,34	0,29
Ca (mg/l)	25,5	15,0	F (mg/l)	0,14	0,09
Mg (mg/l)	7,6	4,3	SiO_2 (mg/l)	7,5	2,1
Na (mg/l)	2,0	2,6	zug. CO_2 (mg/l)	1,6	2,5
K (mg/l)	4,5	2,7			
Fe (mg/l)	0,97	3,27	O_2-Gehalt (%-Sätt.)	30	
Mn (mg/l)	0,16	0,22			
Ges.Härte °dH	5,3	3,1	Sätt.Ind.	-1,76	0,99
Karb.Härte °dH	4,7	2,6			

Auffallend sind vor allem die hohen Eisen-Gehalte der Mischwässer. Diese sind auf das schon mehrfach erwähnte Maximum im Raum Feucht zurückzuführen und täuschen somit einen auch für das restliche Arbeitsgebiet erhöhten Wert vo

Nach Auswertung durch die statistischen Verfahren handelt es sich im Mittel um ein weiches Ca-Mg-HCO_3-Wasser mit einer deutlichen Zuordnung des K, des SO_4 und der zug. CO_2 zu diesen Komponenten. Der durch die Hauptkomponenten wiedergegebene Chemismus weist bei niedrigen Standardabweichungen ein relativ einheitliches Bild auf.

Ausdrücklich sei auf die erstmals in den Schichten des Mittleren Keupers auftretenden hohen Schwankungen der in sehr geringen Mengen vorhandenen Na-, Cl-, SO_4-, NO_3-, NH_4 und PO_4-Ionen hingewiesen, deren Standardabweichungen den jeweiligen Mittelwert zum Teil erheblich überschreiten. Hiervon korrelieren Cl und Na in der Faktorenanalyse nahezu vollständig miteinander (vgl. Diagr.1, S.19).

Während NO_3 und PO_4 unterschiedliche gering gewichtete gegenseitige Korrelationspartner darstellen, ist die Zuordnung des NH_4 zu den ebenso stets gemeinsam korrelierenden Ionen Fe und Mn deutlich.

Die Ursache der hohen Fe- und Mn-Schwankungen ist auf das wechselnde primär-geologisch bedingte Angebot zurückzuführen (vgl. Kap. 3.3.2.1).

Die Ionen Na, Cl und NO_3 müssen als eindeutig anthropogen bedingte Indikatoren angesehen werden (siehe unten).

Die Ionen K und SO_4 sind Hinweis für wechselnde geologisch und anthropogen bedingte Herkunft.

3.3.2 Burgsandstein

Im Bereich des Arbeitsgebietes ist der Burgsandstein - wie die übrigen Schichtglieder des Mittleren Keupers mit Ausnahme der Estherienschichten - in sandiger "Nürnberger Fazies" ausgebildet und läßt sich in den Unteren, den Mittleren und den Oberen Burgsandstein untergliedern (THÜRACH, 1888, 1889). Die verschiedenen Einheiten werden dabei von häufig durchhaltenden, unterschiedlich mächtigen Lettenhorizonten getrennt. Diese Tonlagen bewirken neben der Herausbildung von separaten Grundwasserstockwerken einen Schutz des tieferen Grundwassers vor anthropogenen Beeinträchtigungen. Die Gesamtmächtigkeit des meist dickbankigen, schräg geschichteten und gradierten Burgsandsteins wechselt zwischen 70 und 90 m.

3.3.2.1 Unterer Burgsandstein (kbu)

Der kbu ist im Bearbeitungsgebiet aufgrund der Aufnahme der Bohrungen Feucht Brunnen 5, Altenfurth, Rückersdorf, Schwarzenbruck, Unterferrieden I und II, Rummelsberg und Diepersdorf als ein zumeist mittelsandiger bis

feinkiesiger hellroter bis grauer Arkosesandstein ausgebildet. Er tritt lediglich an der äußersten südwestlichen Ecke zutage. Die stark schwankenden Gesteinsmächtigkeiten betragen bei Rückersdorf ca. 27 m, bei Feucht 39 m und im Raum Allersberg ca. 18 m. BERGER (1978) gibt mittlere Gesteinsmächtigkeiten von 25 bis 30 m für den Nürnberger Raum an. Insgesamt ist die Tendenz einer Mächtigkeitsabnahme von Nordwesten nach Südosten erkennbar.

Es handelt sich um das wohl homogenste Schichtglied des Burgsandsteins mit einer relativ einheitlichen Sandsteinabfolge. Das folgende Bohrprofil der Bohrung Rückersdorf Brunnen 4 gibt Einblick in die Abfolge des kbu.

- 61,5 m dunkelroter, fein- bis mittelsandiger Letten mit vereinzelt calcitischem Bindemittel
- 66,7 heller bräunlicher bis schwach rötlicher Sandstein, fein- bis grobsandig, wenig calcitisches Bindemittel
- 74,5 graubrauner Sandstein, mittel- bis grobsandig mit feinkiesigen Beimengungen
- 86,5 hellgrauer Sandstein, grobsandig bis feinkiesig
- 88,0 helle grünlichgraue, fein- bis mittelsandige Letten
- 91,2 sehr harter Sandstein, hellgrau, selten rötlich, dolomitisches Bindemittel

Deutung: Bei 88,0 endet der kbu durch den gering mächtigen Basisletten.
Der bis zur Teufe 61,5 m erbohrte Letten stellt den Basisletten des Mittleren Burgsandsteins dar.
Die dazwischen liegende Sandsteinabfolge entspricht der sandigen Ausbildung des Unteren Burgsandsteins.

Eigene Untersuchungen mit dem REM lassen ein grobkörniges Gefüge mit spürbarem tonigen Besatz und Bindemittel erkennen (Tafel, Abb. 9, 10). Diffraktometrische Auswertungen der Bohrungen Schwarzenbruck Brunnen 4 und Feucht Brunnen 5 sowie der Kernbohrungen Schönberg, Diepersdorf, Unterferrieden I, II und Rummelsberg I ergeben für den kbu einen überwiegend quarzführenden Sandstein mit deutlicher Feldspatführung und wenig calcitischen und dolomitischen Beimengungen. Eine geringfügige Zementation des Porenraumes besteht vorwiegend aus tonigen Substanzen.

Erwähnenswert sind grobkiesige Schichten der Kernbohrung Unterferrieden II. Derartige grobkörnige Serien dürften zu einem erheblichen Anteil an der Porenwasserführung des kbu beitragen.

Der Untere Burgsandstein bildet zusammen mit den Sandsteinen des ks, der kl und des kbl ein eigenes Grundwasserstockwerk aus. Die spürbare Erhöhung der Zuflußraten in den Vorflutern Pegnitz, Röthenbach, Schwarzach (Mfr.) und Kleine Roth durch Anschneiden dieses Grundwasserstockwerks ist Hinweis für die hohe Ergiebigkeit dieses im Bearbeitungsgebiet wichtigsten Grundwasserleiters.

Zur Hydrochemie

Folgender Tabelle ist der durchschnittliche Grundwasserchemismus aus der Analyse von 84 Brunnen, die u.a. den Grundwasserleiter des kbu erfaßt haben, entnehmbar.

Tab. 6 Mischgrundwasserchemismus bei Erfassen des Unteren Burgsandsteins

	Mittelwert	Standardabw.			Mittelwert	Standardabw.
spez. Ergiebigkeit (l/s)	0,91	0,64	HCO_3	(mg/l)	96,2	72,0
Temperatur °C	10,3	1,3	SO_4	(mg/l)	15,3	11,9
Leitf. (mS/m)	20,5	17,3	Cl	(mg/l)	7,3	7,0
pH-Wert	6,57	0,74	NO_3	(mg/l)	4,2	6,6
Ca (mg/l)	26,9	17,3	NH_4	(mg/l)	0,07	0,04
Mg (mg/l)	7,1	4,7	PO_4	(mg/l)	0,32	0,27
Na (mg/l)	2,5	2,7	F	(mg/l)	0,12	0,05
K (mg/l)	4,7	2,9	SiO_2	(mg/l)	7,07	2,19
Fe (mg/l)	1,01	3,25	zug. CO_2	(mg/l)	1,96	3,5
Mn (mg/l)	0,15	0,21	Sätt.Ind.		-2,2	1,3
Ges.Härte °dH	5,4	3,5	O_2-Gehalt (%-Sätt.)		30	
Karb.Härte °dH	4,4	3,3				

Nach der statistischen Auswertung wird aus diesem Grundwasserleiter ein Ca-Mg-HCO_3-Wasser gefördert mit deutlicher Zuordnung des K sowie der zugehörigen und aggressiven Kohlensäure.

Obwohl dieser Grundwasserleiter nahezu im gesamten Arbeitsgebiet durch die nur schlecht durchlässigen und über weite Flächen aushaltenden Basisletten des Mittleren Burgsandsteins vor anthropogenen Beeinflussungen geschützt ist, kann dennoch mit Hilfe der statistischen Auswertung ein gleichsinniges Auftreten der Na- und Cl-Ionen nachgewiesen werden. Diese Zuordnung stellt eine zwar geringe, jedoch bestehende Belastung dieses Grundwasserleiters durch menschliche Beeinflussung dar (siehe unten).

Bemerkenswert ist die schon mehrmals erwähnte hohe Eisenführung des Grundwassers im Großraum Feucht. Die Bereiche hoher Eisen-Gehalte können auf kurze Entfernungen (knapp 1000 m) von 15,5 mg auf 0 mg Fe/l abnehmen und sind auf begrenzte Gebiete beschränkt. Untersuchungen an dem stillgelegten Brunnen I der Gemeinde Feucht ergaben bei einer Grundwasserentnahme aus unterschiedlichen, getrennt verfilterten Grundwasserhorizonten eine deutliche Schichtung der Eisen-Gehalte mit Veränderung des Redoxpotentials und der aggressiven Kohlensäure bei einem ansonsten gleichbleibenden Grundwasserchemismus.

Tab. 7 Grundwasserentnahme aus mehreren verfilterten Grundwasserhorizonten des Brunnen 1 der Gde.Feucht

Grundwasserleiter	Teufe	pH-Wert	Eh-Wert	Fe	Mn	CO_2 aggr. (HEYER)	Cl	NO_3	NH_4	PO_4
	m		mV			mg/l				
kbm/kbu	5o	5,70	+220	6,3	0,65	10,1	4,5	4,5	0,1	0,1
kbu	75	5,50	+155	15,5	0,69	16,9	3,5	3,5	0,05	0,2
kbl	100	5,60	+165	9,1	0,65	14,9	3,0	3,0	0,05	0,6
kl	125	5,70	+250	8,9	0,68	16,9	3,0	3,0	0,05	0,2

Neben der extrem hohen Eisenführung mit einem Maximum im Bereich des kbu fällt die außergewöhnlich hohe spezifische Ergiebigkeit dieses Brunnens mit 1,6 l/s . m auf. Derart hohe Ergiebigkeiten sind im allgemeinen eng gekoppelt mit starker Klüftigkeit des Gesteins.

Obwohl nach der statistischen Auswertung für die Summe aller Keupersandsteine kein ursächlicher Zusammenhang zwischen der Eisenführung und der spezifischen Ergiebigkeit nachweisbar ist, kann angenommen werden, daß eine starke Klüftigkeit des Gesteins aufgrund hoher Kluftwegsamkeiten zu einer erhöhten Belüftung des Grundwassers führt und damit - da das Eisen nur in zweiwertiger, reduzierter Form mobil ist - eine verstärkte Ausfällung des fast unlöslichen dreiwertigen Eisens im Bereich dieser Klüfte bewirkt. Die benachbarten Brunnen 2 - 5, die ebenso Grundwasser aus dem kbu fördern, weisen bei geringeren spezifischen Ergiebigkeiten stark abnehmende Fe-Gehalte auf. Würde sich eine Wasserförderung auf eine reine Kluftentwässerung stützen, so müßte eine entschieden stärkere Nivellierung der Eisen-Gehalte eintreten.

Die Herkunft und Mobilisierung des Eisen deutet somit auf einen spürbaren Nicht-Kluftgrundwasser- d.h. Porenwasseranteil zumindest des Unteren Burgsandsteins hin.

Auffällend auch in dieser Beprobung sind die deutliche Abnahme des Cl, NO_3 und NH_4 vom kbm zum kbl und die dann konstant bleibenden Werte im kbl und kl als Ausdruck der mit zunehmender Teufe geringer werdenden menschlichen Einflußnahme.

3.2.2.2 Mittlerer Burgsandstein (kbm)

Der kbm zeichnet sich durch eine sehr ungleichmäßige Schichtenfolge von deutlich rot und braun gefärbten Sandsteinen und Tonen aus, die horizontal wie vertikal einem raschen faziellen Wechsel unterworfen sind. Anstehend ist der dickbankig ausgebildete kbm im Schwarzachtal zwischen Ochenbruck und der Autobahnraststätte Feucht, worauf schon STAHL (1930), RÜCKERT (1933) und BIRZER (1936) verwiesen. Begleitet wird dieser Einschnitt in den kbm von einem markanten Quell- und Nässehorizont in dem südlich zur Schwarzach hin gelegenen Steilabbruch. Im nördlichen Bereich dieses Einschnittes sind nur an dessen Basis drei kleinere Quellen vorhanden. Die Höhendifferenz beider Horizonte beträgt maximal 10 m und ist ein weiterer Hinweis für die Existenz der nördlich der heutigen Schwarzach (Mfr.) befindlichen begrabenen Talrinne; diese Rinne übernimmt für das Gebiet nördlich der heutigen Schwarzach (Mfr.) die Vorflut für den kbm. Weitere erwähnenswerte Quellaustritte, die zumeist nicht an den Basisletten des kbm gebunden sind, wurden bei Nerreth und südlich von Sperberslohe mit Schüttungen bis max. 3,5 l/s erfaßt.

Die mittlere Mächtigkeit des kbm wird von BERGER (1978) mit 25 m angegeben, kann jedoch beträchtlich von ca. 15 bis 35 m schwanken. Folgendes Bohrprofil kann als typisch für die Wechsellagerung angesehen werden:

Bohrung Schwarzenbruck Brunnen 3

- 20,0 m	Ton, dunkelrot
- 22,5	Sandstein, tonig, mittel- bis grobsandig, rotgrau und rotgrün
- 26,0	Ton, dunkelrot, geringer feinsandiger Anteil
- 26,5	Ton, grau bis hellgrün und hellrot, Beimengungen von Feinkies und Grobsand
- 29,8	Sandstein, rotgrau, fein- bis grobsandig
- 32,5	Ton, rot, feinsandig
- 36,7	Sandstein, hellrot, grobsandig bis mittelkiesig
- 39,0	Ton, gelb mit Quarzgeröllen und Lyditen (bis 37 mm Durchmesser)
- 47,0	mittelsandiger homogener Sandstein, hellrot, geringe Tonbeimengungen

Deutung: bis 20,0 m kbo
bis 39,0 m kbm
darunter Schichten des kbu

Röntgendiffraktometrische Aufnahmen des Bohrgutes von insgesamt 7 Bohrungen ergeben für den kbm eine ähnliche petrographische Zusammensetzung wie für den kbu: Der Sandstein baut sich vornehmlich aus Quarz mit wechselnden Tonbeimengungen und untergeordneten Anteilen an Feldspat, Calcit und Dolomit auf. REM-Aufnahmen weisen beginnende sekundäre calcitische Anwachsungen auf korrodierter Quarzkornoberfläche nach (Tafel, Abb. 7 - 8). Intergranulare Überbrückungen bestehen vornehmlich durch das tonige Bindemittel. Dolomitisches Bindemittel, wie es von EMMERT (1964) für den kbm nordwestlich einer Linie Ansbach - Bayreuth beschrieben wird, fehlt gänzlich.

Auffallend ist die in den Bohrungen Diepersdorf, Schönberg und reliktisch in Bohrung Unterferrieden vorhandene Ausbildung von Tonmineralaggregaten (vgl. hierzu Tafel, Abb. 5, 6).

Andere Verhältnisse werden für den kbm des Wendelsteiner Höhenzuges auf dem westlich angrenzenden Blatt Schwabach beschrieben (BERGER 1978). Hier sind die Sandsteine im Bereich einer Vielfalt von flachherzynisch streichenden Klüften epigenetisch durch kieseliges Bindemittel verfestigt (v. GEHLEN 1956).

Erwähnenswert sind die von BERGER (1962) erfaßten Uranführenden Aktivarkosen des kbm, die Anlaß für umfassende Uranprospektionen geben (vgl. hierzu Kap. 9). Die Aktivarkosen sind als syngenetische Bildungen der lakustrischen Sedimentationsbedingungen des kbm in einer endseenreichen Umgebung aufzufassen (BERGER 1978, S. 120). Auffallend sind in diesem Zusammenhang die schwach erhöhten Uran-Gehalte im Grundwasser um Wendelstein, was auf eine erhöhte Uranmobilisation in diesem stark durchklüfteten Bereich schließen läßt (v. GEHLEN 1955).

Die Grundwässer des kbm bilden zumeist ein vom Unteren Burgsandstein unabhängiges Grundwasserstockwerk aus.

Der im Bearbeitungsgebiet großflächig anstehende kbm wird in gleichen Teilen von Bebauung, land- und forstwirtschaftlichen Nutzungsflächen belegt.

Zur Hydrochemie

Der im folgenden wiedergegebene Chemismus stellt den Mittelwert von 93 Mischwasser- und Einzelwasseranalysen dar. Miteinbezogen sind die im Kap. 7.3.6 dargestellten Werte der Zeitreihe "Autobahnquelle".

Tab. 8 Mischgrundwasserchemismus bei Erfassen des Mittleren Burgsandsteins

	Mittelwert	Standardabw.		Mittelwert	Standardabw.
spez. Ergiebigkeit (l/s•m)	0,65	0,69	HCO_3 (mg/l)	84,6	82,7
			SO_4 (mg/l)	25,4	20,9
Temperatur °C	9,8	1,8	Cl (mg/l)	31,3	53,7
Leitf. (mS/m)	28,2	22,6	NO_3 (mg/l)	7,4	21,3
			NH_4 (mg/l)	0,10	0,11
pH-Wert	6,26	0,82	PO_4 (mg/l)	0,27	0,38
Ca (mg/l)	30,3	21,1	F (mg/l)	0,11	0,03
Mg (mg/l)	7,7	10,7	SiO_2 (mg/l)	6,1	3,2
Na (mg/l)	16,0	31,7	zug. CO_2 (mg/l)	2,3	5,2
K (mg/l)	6,8	14,3			
Fe (mg/l)	0,60	2,28	Sätt.Ind.	-2,57	1,54
Mn (mg/l)	0,13	0,24	Eh-Wert	+290	120
Ges.Härte °dH	6,0	5,4			
Kar.Härte °dH	3,9	3,8			

Im Durchschnitt beinhaltet dieser Grundwasserleiter ein weiches Wasser mit einer spürbaren Belastung durch anthropogen bedingte Einflüsse. Nach der statistischen Auswertung handelt es sich um ein Ca-HCO_3-Wasser mit deutlicher Zuordnung des Mg, des pH-Wertes, der zug. Kohlensäure und des Sättigungsindexes. Bedingt durch die menschlich bedingte Beeinflussung lassen sich zwei weitere Charakterisierungen dieses Grundwassers ableiten:

- Na und Cl korrelieren vollständig bei allen statistischen Auswerteverfahren miteinander und stellen die weiteren Hauptkomponenten dar;

- K, NO_3, SO_4 und mit Abschwächung PO_4 korrelieren in hohem Maße miteinander.

Während erstere Aussage als Ergebnis der hohen NaCl-Belastung durch Salzstreuung wie häusliche Abwässer anzusehen ist, muß der zweite Punkt wohl auf die intensive Düngung des vorwiegend forst- und landwirtschaftlich genutzten Untersuchungsareals zurückgeführt werden.

Eine weitere Charakterisierung und Präzisierung obiger Ausführungen läßt sich aus den Standardabweichungen ableiten: Die hohe Schwankungsbreite nahezu aller Inhaltsstoffe, speziell des Na, Cl, NO_3 und PO_4, sind Hinweise für vornehmlich punktuelle und nicht flächige Belastungen des kbm-Grundwassers.

Als Folgeerscheinung des hohen NaCl-Eintrages ist eine spürbare Herabsetzung der Karbonat-Härte festzustellen (vgl. Kap. 7.3.6, Abb. 27). Der genannten Abb. 27 ist zu entnehmen, daß die Grundwässer des kbm im Vergleich zu den Wässern des kbo und kbu in einem geringfügig saureren pH-Bereich liegen; die Erniedrigung des Ausgleichs-pH-Wertes bzw. Erhöhung des negativen Sättigungsindexes weist auf einen erhöhten Gehalt an aggr. Kohlensäure in diesem Grundwasserleiter hin. Weiterhin tritt Na in geringeren äquivalenten Mengen als Cl auf.

Faßt man die aufgeführten Daten zusammen, so finden folgende chemische Vorgänge als Ergebnis der menschlich bedingten Belastung statt:

- geringfügiger Kationenaustausch nach dem von SCHWILLE (1954) vorgestellten Schema (vgl. Kap. 7.3.6)

$$Ca\ A + 2Na^+ \underset{\longleftarrow}{\overset{(NaCl)}{\longrightarrow}} Na_2\ A + Ca^{2+}$$

- Störung des Kalk- Kohlensäure-Gleichgewichtes:

$$CO_2 + H_2O \rightleftharpoons H^+ + HCO_3^-$$

$$CaCO_3 + H^+ + HCO_3^- \xrightleftharpoons{(NaCl)} Ca^{2+} + 2(HCO_3)^-$$

Die Folge ist eine Minderung der zug. CO_2 und eine Verschiebung der dargestellten Gleichgewichte nach links.

Insgesamt kann die Veränderung des Grundwasserchemismus des kbm als ein empfindliches Indiz menschlich bedingter Einflußnahme angesehen werden.

3.3.2.3 Oberer Burgsandstein (kbo)

Der kbo wird meist mit einem bis zu 8 m mächtigen Lettenhorizont, der weitgehend durchhaltend ist, eingeleitet (URLICHS 1968, S. 11). Er setzt sich aus bis zu 35 m mächtigen tonig gebundenen Feinsanden bis Feinkiesen zusammen, die von häufig nicht durchhaltenden Lettenhorizonten (BERGER 1978, S. 49) unterbrochen werden. URLICHS (1968, S. 12, 13) weist auf calcitisch und kieselig gebundene Bänke sowie Quarzgerölle mit 14 cm Durchmesser hin. Er beschreibt den kbo als einen hellen, grobkörnigen, manchmal feinkörnigen, porösen und kreuzgeschichteten Arkosesandstein, wobei der Felspatanteil zum Teil stark angewittert und kaolinisiert ist.

Das Vorkommen erstreckt sich über große Teile des Bearbeitungsgebietes.

Entsprechend den aushaltenden Basisletten des kbo bilden sich meist eigene Grundwasserstockwerke aus (namentlich bei Fischbach, bei Feucht und bei Pyrbaum; siehe auch Anlage 2b).

Großflächige, unterschiedlich mächtige pleistozäne Überdeckungen auf den Blättern Röthenbach und Feucht wirken zum Teil als Brücken zwischen den Grundwasserstockwerken des kbm und kbo.

Die Vernässungshorizonte, die meist hangende Bereiche des kbo entwässern, sind fast ausnahmslos vermoort, was eine systematische Beprobung empfindlich erschwerte. In Quelltöpfen konnten stark erhöhte Eisen- und Mangan-Gehalte festgestellt werden. Ergiebige Quellen mit Schüttungen bis zu 10 l/s sind lediglich im oberen Schwarzachtal zwischen Burgthann und Schwarzenbruck anzutreffen.

Im übrigen sind die Talsedimente aller Gewässer des Bearbeitungsgebietes, die dem Main-Regnitz-System wasserpflichtig sind, Vorfluter des ergiebigen kbo.

Zur Hydrochemie

Bei Betrachtung des folgenden Grundwasserchemismus, der dem Mittelwert von 47 Einzelwässern entspricht, fällt rasch die auch schon im kbm festgestellte anthropogene Einflußnahme auf das Grundwasser auf:

Tab. 9 Grundwasserchemismus des Oberen Burgsandsteins

	Mittelwert	Standardabw.			Mittelwert	Standardabw
Temperatur (^{o}C)	10,0	2,5	HCO_3	(mg/l)	141	147
Leitf. (mS/m)	29,6	18,0	SO_4	(mg/l)	37,3	27,3
			Cl	(mg/l)	14,8	23,4
pH-Wert	6,37	0,84	NO_3	(mg/l)	13,9	22,5
Ca (mg/l)	40,1	22,4	NH_4	(mg/l)	0,18	0,2
Mg (mg/l)	9,8	5,8	PO_4	(mg/l)	0,24	0,4
Na (mg/l)	6,8	18,5	F	(mg/l)	0,13	0,0
K (mg/l)	8,5	7,8	SiO_2	(mg/l)	6,9	2,9
Fe (mg/l)	0,77	1,68	zug. CO_2	(mg/l)	6,6	15,2
Mn (mg/l)	0,31	0,63				
Ges.Härte ^{o}dH	7,9	4,5	Sätt.Ind.		-2,0	1,5
Karb.Härte ^{o}dH	6,5	6,7				

Im Vergleich zum kbm überwiegen im kbo die Hauptinhaltsstoffe Ca, Mg und HCO_3. Der Sättigungsindex als Maß für die aggr. CO_2 sowie Na und Cl weist deutlich niedrigere Werte auf.

Im Bereich des oberflächlich anstehenden kbo ist im Gegensatz zum kbm eine nahezu ausschließliche forstwirtschaftliche Nutzung festzustellen.

Die durch die Standardabweichung gekennzeichneten hohen Schwankungen des Grundwasserchemismus weisen mehr auf punktuelle als auf flächige Belastungen hin.

Die weitere statistische Auswertung erbrachte folgende Ergebnisse:

Aus der Korrelationsanalyse kann im wesentlichen ein Ca-Mg-HCO_3-Typus mit deutlicher Zuordnung des Sättigungsindexes und spürbar positiver Korrelation des K, NO_3 und PO_4 abgeleitet werden. Unabhängig davon korrelieren Na und Cl sowie Fe, Mn und NH_4 fast vollständig miteinander.

Die Deutung der Korrelationsanalyse liegt auf der Hand und entspricht der Theorie:

Die schon von MÜLLER (1970, S. 70) festgestellte Erhöhung der Karbonat- und der Gesamt-Härte in Verbindung mit dem Eintrag von Düngemitteln kann vollständig bestätigt werden, wenn die Ionen K, NO_3 und PO_4 als Indikatoren für Düngung aufgefaßt werden. Die aggr. CO_2 wird als Ausdruck der Belebung der Bodenflora durch erhöhtes Nährstoffangebot angesehen.

Bedingt durch die Reduktionsvorgänge, die u.a. durch die Belebung in den oberen Bodenschichten hervorgerufen wurden, erfolgt neben der Reduktion und Mobilisierung von Fe und Mn eine Reduktion des angebotenen NO_3 und NH_4.

Ähnliche Ergebnisse erbrachte die Faktorenanalyse:

Neben den eindeutig aufgezeigten Zusammenhängen in dem gleichsinnigen Auftreten von Fe, Mn und NH_4 treten die oben angeführten Korrelationspartner in gleichartigen Faktorenladungen auf. Eine Ausnahme bildet lediglich HCO_3, das zum Teil wechselnde Zuordnungen aufweist.

Insgesamt ist der kbo als ein Grundwasserleiter anzusehen, dessen Grundwasser durch umweltbedingte Einflüsse merklich verändert wurde.

.4 Feuerlettensandsteine (kf)

In dem 30 - 60 m mächtigen tonigen Schichtpaket des Feuerlettens sind bis zu drei, maximal acht m mächtige, wenig zusammenhängende Sandsteinhorizonte, die zum Teil auf größere Entfernungen aushalten, eingelagert (URLICHS 1968, BERGER 1969). Nach den genannten Autoren läßt sich eine faziell bedingte Dreiteilung des Feuerlettens ableiten, wobei die mächtigsten Sandsteinablagerungen im mittleren Horizont angesiedelt sind. Die quarzitisch gebundenen Sandsteine sind nach Aufnahmen der RMD, Nürnberg, fein- bis mittelkörnig ausgebildet und streichen, zum Teil als Quellhorizont, flächig aus. URLICHS (1968) weist auf wechselnde Gehalte an Dolomiten und Kalken im Feuerletten hin. An insgesamt 35 Quellaustritten konnte eine Gesamtschüttung von ca. 5 l/s bzw. 0,16 hm^3/a ermittelt werden. Wie aus sporadischen Schüttungsmessungen im Südteil des Bearbeitungsgebietes festgestellt wurde, unterliegt dieser Wert großen Schwankungen. Die durch Pegelmessungen der RMD, Nürnberg, nachgewiesenen hohen Spiegelschwankungen bestätigen das wechselnde Speicheraufkommen dieses Sandsteins.

Zur Hydrochemie

Der uneinheitlichen Einschaltung von Sandsteinen im Feuerletten entspricht ein unregelmäßiger Grundwasserchemismus. Während im Liegenden des Schichtpaketes oft relativ weiche Wässer angetroffen werden, sind die Grundwässer in hangenden Sandsteinen häufig hart. Diese Beurteilung trifft jedoch nicht immer zu und konnte auch in umgekehrter Weise ermittelt werden.

Im folgenden ist der durchschnittliche Grundwasserchemismus der oben angeführten 35 Quellaustritte wiedergegeben.

Tab. 10 Grundwasserchemismus der Feuerlettensandsteine

	Mittelwert	Standardabw.		Mittelwert	Standardabw.
Temperatur °C	9,2	2,6	HCO_3 (mg/l)	179	129
Leitf. (mS/m)	42,1	23,2	SO_4 (mg/l)	59,0	56,0
			Cl (mg/l)	16,5	16,8
pH-Wert	6,79	1,10	NO_3 (mg/l)	14,8	32,7
Ca (mg/l)	55,7	30,1	NH_4 (mg/l)	0,11	0,09
Mg (mg/l)	19,2	20,1	PO_4 (mg/l)	0,16	0,40
Na (mg/l)	6,1	7,4	F (mg/l)	0,12	0,03
K (mg/l)	6,1	8,3	SiO_2 (mg/l)	7,2	3,2
Fe (mg/l)	0,09	0,07	zug. CO_2 (mg/l)	9,3	1,6
Mn (mg/l)	0,17	0,28			
Ges.Härte °dH	12,2	8,7	Sätt.Ind.	-1,4	1,8
Karb.Härte °dH	8,2	5,9	Eh (mV)	+380	130

Nach der statistischen Auswertung wird im Schnitt ein ziemlich hartes Ca-HCO_3-Wasser gefördert mit fast steter Präsenz bzw. deutlicher Zuordnung des Sättigungsindexes. Negativ zu diesem Grundwassertyp korreliert ein Ca-Mg-HCO_3-SO_4-Wasser, d. h.

- mit zunehmender Präsenz von Mg steigt in gleichem Maße der SO_4-Anteil an;
- die Zunahme des Mg-SO_4-Anteiles bewirkt eine relative Abnahme des Ca-HCO_3-Anteiles.

Da bei Vergleich der Korrelationsmatrix die erhöhten SO_4-Gehalte nicht mit den oben genannten anthropogenen Indikatoren Cl, NO_3 usw. korrelierbar sind, dürfte die Herkunft geologisch bedingt sein.

Aufgrund des meist deutlich positiven Redoxpotentials wird angenommen, daß das Ca-Mg-HCO_3-SO_4-Wasser sulfidischen dolomitischen Sandsteinen entstammt, die einem oxidierenden rezenten Milieu unterworfen sind.

Die Herkunft des Ca-HCO_3-Wassers dürfte an calcitisch gebundene Sandsteine geknüpft sein.

Aufgrund der durch die Standardabweichung wiedergegebenen Schwankungsbreite und der niedrigen Faktorenladungen des K, Na, PO_4, Cl, NO_3 und NH_4 ist eine sporadisch vorhandene anthropogene Beeinträchtigung von kleinem Ausmaß anzunehmen.

Infolge ihrer geringen Mächtigkeiten, der wenig aushaltenden Vorkommen und der nur äußerst geringen Grundwasserneubildung sind die Sandsteine des Feuerlettens nur von untergeordneter wasserwirtschaftlicher Bedeutung.

3.5 Oberer Keuper

3.5.1 Rät-Lias-Übergangsschichten (kol)

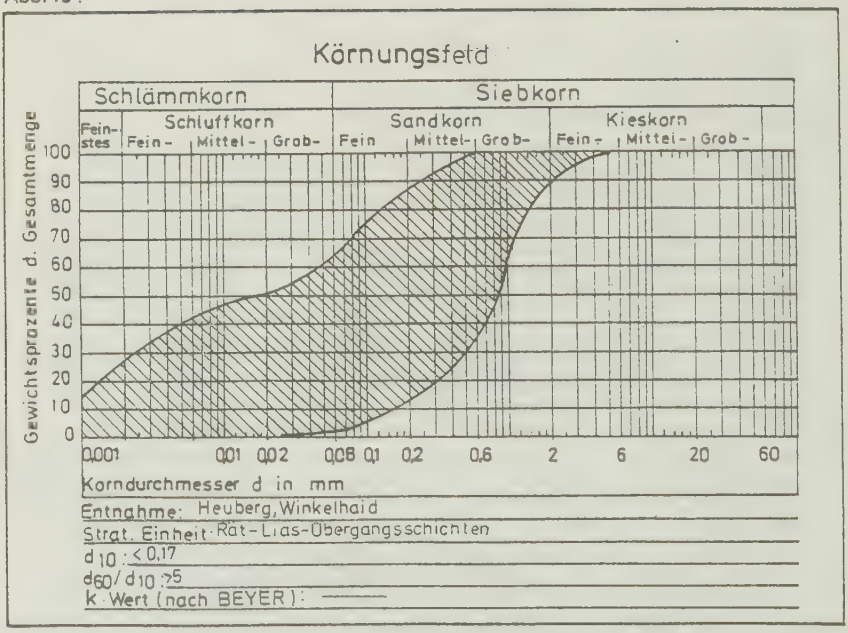
Kennzeichnend für die Rät-Lias-Übergangsschichten sind neben der wechselnden faziellen Ausbildung die hohen Mächtigkeitsschwankungen. So können in der Bohrung Rübleinshof bei Burgthann knapp 2 km nordöstlich der Störung bei Unterferrieden ca. 30 m nachgewiesen werden. 15 km weiter südlich, an der von BERGLER (1937) postulierten Freystadt - Weißenburger Schwelle, keilen die Übergangsschichten auf 0 m aus. Nach BERGLER (1937) sind diese Schwankungen auf Abtragungen durch das transgredierende Lias-Meer zurückzuführen, nach VIOHL (1969) greifen zudem die Rät-Profile rinnenförmig in den Feuerlettenhorizont hinab.

Der Ausbiß des Rätolias ist als ein markanter Quellhorizont im Gelände ersichtlich. Insgesamt wurden 61 Quellen aufgenommen mit einer Gesamtschüttung von ca. 51 l/s (1,61 hm^3/a) bzw. durchschnittlich 0,9 l/s pro Quelle. Im Zuge des Aufbaues von Gruppenwasserversorgungen werden derzeit die bisher zumeist zu Trinkwasserzwecken genutzten Quellen aufgelassen und als Brauchwasserlieferanten für die Fischzucht verwendet. Im Kapitel 7.3.4. wurde eine durchschnittliche Grundwasserneubildung von 3,7 l/s pro km^2 für die Grundwässer des kol errechnet.

Ausführliche Gesteinsbeschreibungen wurden vornehmlich von BERGLER (1937), URLICHS (1966) und VIOHL (1969) vorgelegt. Es handelt sich demnach um ein uneinheitliches Sedimentationspaket mit wechselnden Mengen tonig gebundener mürber Fein- und Grobsandsteine mit meist heller bis gelbbrauner, ockerbrauner und rostbrauner Farbe. In eigenen Aufnahmen mit dem REM tritt deutlich der tonige Besatz von korrodiertem Sandkornmaterial zutage (Tafel, Abb. 4, 5).

Aufgrund der äußerst geringen Schüttungsschwankungen (RADIG & REICHEL 1978) muß angenommen werden, daß der Rätsandstein als ein gemischter Kluft- und Porengrundwasserleiter ausgebildet ist.

Abb. 13:



Zur Hydrochemie

Dem Grundwasserleiter des Rätsandsteins entspricht im allgemeinen ein ziemlich hartes Wasser mit Gesamthärten von durchschnittlich 15,3 °dH und dem Typus des Ca-Mg-HCO_3-Wassers.

Tab. 11 Grundwasserchemismus der Rät-Lias-Übergangsschichten

	Mittelwert	Standardabw.		Mittelwert	Standardabw.
Temperatur °C	9,3	1,9	HCO_3 (mg/l)	215	107
Leitf. (mS/m)	50,5	24,8	SO_4 (mg/l)	59,1	31,2
pH-Wert	6,98	0,97	Cl (mg/l)	27,7	31,0
Ca (mg/l)	79,9	34,2	NO_3 (mg/l)	33,0	33,7
Mg (mg/l)	17,9	10,9	NH_4 (mg/l)	0,10	0,11
Na (mg/l)	8,4	14,3	PO_4 (mg/l)	0,11	0,12
K (mg/l)	8,1	13,5	F (mg/l)	0,13	0,04
Fe (mg/l)	0,22	1,01	SiO_2 (mg/l)	7,2	1,8
Mn (mg/l)	0,08	0,13	zug. CO_2 (mg/l)	13,6	12,7
Ges.Härte °dH	15,3	7,3	Sätt.Ind.	- 0,8	1,48
Karb.Härte °dH	9,9	4,9	Eh (mV)	+350	75

Auffallend sind regionale Schwankungen des Grundwasserchemismus, speziell der Gesamthärten dieses Aquifers: Spürbare niedrigere Härtegrade weisen die Grundwässer der Gegend des Kalten Brunnens westlich des Autobahnkreuzes Altdorf bis nach Rummelsberg sowie westlich von Unterlindelburg mit Gesamthärte um 3°dH auf.

Ein deutliches Charakteristikum ist der je Quelle gleichbleibende Chemismus: Beprobungen von zwei mal zwei Quellen (RADIG & REICHEL 1978, eigene Untersuchungen 1978) über ein Jahr hinweg weisen einen nahezu konstanten Chemismus jeder einzelnen Quelle nach (Tab. 12).

Tab. 12 Grundwasserchemismus von Rätsandsteinquellen (einjährige Beprobungsreihen)

	Sophien-quelle+	Dolderles Brünnele+	Quelle Beprobungs-Nr. 6610		Quelle Beprobungs-Nr. 6612	
	Mittel-wert	Mittel-wert	Mittel-wert	Stan-dardabw.	Mittel-wert	Stan-dardabw.
Temperatur °C	ca. 10	ca. 8,5	9,2	0,2	8,3	1,0
Quell-schüttung (l/s)	4,1	0,05	3,80		0,8	
Leitf. (mS/m)	n.b.	n.b.	562	18	490	45
pH-Wert	7,3	7,3	7,16	0,09	7,24	0,04
Ca (mg/l)	85,6	96,8	101,1	6,1	86,4	6,1
Mg (mg/l)	17,7	20,1	27,7	2,8	21,3	3,3
Na (mg/l)	n.b.	n.b.	6,1	0,4	3,2	0,4
K (mg/l)	n.b.	n.b.	6,6	0,4	2,5	0,2
Fe (mg/l)	0,2	n.b.	< 0,05		< 0,05	
Mn (mg/l)	n.b.	n.b.	< 0,05		< 0,05	
HCO_3 (mg/l)	294	281	311	3,8	256	3,4
SO_4 (mg/l)	20	n.b.	62	7,7	52	3,8
Cl (mg/l)	12,4	21,3	29,4	1,4	18,1	1,2
NO_3 (mg/l)	n.b.	n.b.	32,2	3,9	30,1	3,9
NH_4 (mg/l)	n.b.	n.b.	0,08	0,04	0,06	0,03
PO_4 (mg/l)	o,3	n.b.	0,05		0,05	
F (mg/l)	n.b.	n.b.	0,12	0,02	0,12	0,02
SiO_2 (mg/l)	10	n.b.	6,3	0,6	7,3	2,9
zug. (mg/l) CO_2	n.b.	n.b.	22,8	1,5	13,4	1,2
Sätt.Index	n.b.	n.b.	- 0,20	0,07	- 0,29	0,06
Ges.Härte °dH	16,0	18,0	20,5	0,59	16,7	1,4
Karb.H. °dH	13,5	12,9	14,2	0,2	11,8	0,2

+ Messungen durch RADIG & REICHEL im Jahre 1973/74; die prozentualen Abweichungen waren jeweils kleiner als die errechnete Standardabweichung in den eigenen Untersuchungen.

Alle vier beprobten Quellen entwässern auf gleichem Horizont in einem Bereich von ca. 400 m den gleichen Grundwasserleiter. Die Schwankungen des Typchemismus sind beim Vergleich aller vier Quellen beträchtlich; sie bleiben aber für jede einzelne Quelle in engem Rahmen und überlappen sich nur wenig mit dem der anderen Quelle.

Zeitliche Schwankungen können nur in den Nitrat-Gehalten (Bepr.Nr.6610, 6612) und den SiO_2-Gehalten (Bepr.Nr.6612) erkannt werden. Während das Nitrat-Maximum im Dezember im Zusammenhang mit dem Düngeaustrag im September/Oktober gesehen werden muß (Flurabstand ca. 25 m, hieraus ableitbare vertikale Sickerrate $3 \cdot 10^{-6}$ m/s), dürften sich die SiO_2-Gehalte der Quelle umgekehrt proportional zur Schüttungsmenge verhalten.

Dem diskontinuierlichen Verlauf der Nitrat-Gehalte steht der ebenso anthropogen bedingte aber konstante Chlorid-Gehalt gegenüber. Die Chlorid-Führung wird als Ausdruck einer gleichbleibenden Belastung durch häusliche Abwässer der jeweiligen Einzugsgebiete gewertet. Da die Ionen Na und K nicht äquivalent zum Cl-Gehalt auftreten, müssen Kationenaustauschvorgänge im Sinne von SCHWILLE (1954) und damit einhergehende Störungen des Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichtes in Betracht gezogen werden.

Die menschliche Einflußnahme auf den gesamten Grundwasserkörper der Rät-Lias-Übergangsschichten wird ebenso mit Hilfe der statistischen Auswertung ersichtlich. Die Ionen Na, K, Cl, PO_4 sowie die Leitfähigkeit als Ausdruck der Gesamtmineralisation weisen hohe und signifikante Zuordnungen auf; ähnliches gilt für die Ionen SO_4 und NO_3 in abgeschwächter Form.

Ein weiteres Merkmal ist das häufige Auftreten von aggr. Kohlensäure, errechnet durch den Langelier'schen Sättigungsindex.

Kalksinterbildungen im Bereich der Sophienquelle und bei Gibitzenhof/Burgthann (frdl. Mitt. Dr. BERGER) belegen andererseits das Auftreten von kalkabscheidenden Wässern des kol.

3.6 Grundwasserhydraulik der Keupersandsteine

Im Bereich des Bearbeitungsgebietes sind zwei typische Arten von Grundwasserleitern durch Bohrungen erfaßt:

- die als reine Porengrundwasserleiter fungierenden quartären Deckschichten (vgl. Kap. 4.1.1.2 und 4.2.1.3),

- die klüftig-porösen Sandsteine des Keupers.

Aus den verfestigten Keuper-Gesteinen entstammt nach ANDRES (in BERGER 1967) und GRIMM (1969) dabei ein großer Anteil des gewinnbaren Wassers ausgeprägten Kluftsystemen, die das spröde Gestein allgegenwärtig und in wirksamem Ausmaß durchsetzen. Dabei sind nach GRIMM & HOFBAUER (1966) die Klüfte nur bis in begrenzte Tiefen hydraulisch wirksam.

Das für eine wirtschaftliche Wassergewinnung nutzbare Klufthohlraumvolumen wird von ANDRES (in BERGER 1967) und POLL (1978) mit 0,5 - 1 % angegeben. Die Gesamtporositäten liegen nach letztgenanntem Autor bei 30,5 - 39 vol%.

Aus der Wertung von hydrometrischen Untersuchungen konnten ebenso BERGMANN & SEILER (1971) erkennen, daß die hydraulisch wirksamen Hohlräume in den Keuper-Sandsteinen vornehmlich den Klüften zuzuordnen sind. Zusätzlich ermittelten sie lokal sich einstellende Strömungsgleichgewichte von Kluft- und Porengrundwasser in den Keupersandsteinen.

3.6.1 Hydraulik der Sandsteine des Mittleren Keupers

Wie oben erläutert, setzt sich der Grundwasserleiter der Keupersandsteine aus zwei Komponenten zusammen: Einem Kluft- und einem Porenwasseranteil.

DÜRBAUM et al. (1969) bezeichnen dabei die Summe der Kluft- und Porendurchlässigkeit als Gebirgsdurchlässigkeit. Während der Kluftgrundwasseranteil nahezu vollständig entwässerbar ist, ist das im Porenhohlraum befindliche Grundwasser mannigfachen Behinderungen unterworfen. Neben der flußhemmenden Anisotropie des Gefüges wird mit geringer werdendem Porenradius ein steigender Anteil des Hohlraumes mit adsorptiv gebun-

denem und nicht fließfähigem Wasser belegt. Ferner werden Teile des Porenhohlraums oberhalb des Grundwasserspiegels durch das ebenso nicht bewegliche und nicht nutzbare kapillar gebundene Wasser sowie durch das zum Teil gravitativ bewegliche Haftwasser eingeengt (MAROTZ 1968).

3.6.1.1 Zum dränbaren Porenhohlraum der Keupersandsteine

Die Bestimmungen wurden an 19 Bohrkernen des Mittleren und Unteren Burgsandsteines durchgeführt, die freundlicherweise von der Fa. ESSO ERZ GmbH Nürnberg zur Verfügung gestellt worden sind. Es handelt sich dabei um feinsandige bis mittelkiesige, tonig gebundene Sandsteine. Die Kerne entstammen insgesamt 6 Tiefbohrungen im Bearbeitungsgebiet.

3.6.1.1.1 Hydrologische Kenndaten

Ergebnisse

Tab. 13 Bestimmung des k-Wertes von nicht geklüfteten Bohrkernen des Mittleren und Unteren Burgsandsteines (Anzahl der Proben: 19)

	max	min	Durchschnitt
k-Wert (m/s) ⊥ ss	$1{,}3 \cdot 10^{-4}$	$1{,}7 \cdot 10^{-7}$	$3{,}8 \cdot 10^{-6}$
k-Wert (m/s) // ss	$2{,}4 \cdot 10^{-4}$	$5{,}8 \cdot 10^{-7}$	$1{,}2 \cdot 10^{-5}$
Permeabilitäts-anisotropie	1 : 1,8	1 : 3,4	1 : 3,2
gesamtes Porenvolumen (%)	40,5	20,4	28,5

3.6.1.1.2 Diskussion der Ergebnisse

POLL (1978, S. 57) weist auf das extrem anisotrope Verhalten des Burgsandsteins hin, wobei er ein um den Faktor 10^1 - 10^2 mal verbessertes Strömungsverhalten parallel ss angibt.

Diese Größenordnung konnte bei keinem der Versuche bestätigt werden und dürfte lediglich für die Grenzfläche Letten / Sandstein gelten. Die von DOBNER (1975) an Proben des oberfränkischen Buntsandsteines ermittelten Permeabilitätsanisotropien am Bohrkern von ca. 3 : 1 bis 3 : 2 entsprechen in etwa den Verhältnissen im Mittleren und Unteren Burgsandstein.

Die Schwankungsbreite der Porendurchlässigkeitsbeiwerte insgesamt beträgt etwa drei 10er-Potenzen. Aufgrund des geringen Durchlässigkeitsbeiwertes sowie des anisotropen Verhaltens ist eine spürbare Behinderung des Abflusses aus einem dränbaren Porenhohlraum anzunehmen.

3.6.1.2 Bestimmung hydraulischer Kennwerte der klüftig-porösen Sandsteine des Mittleren Keupers

Während die Ermittlung der Porendurchlässigkeiten an Bohrkernen nur punktuelle Einblicke in einen Anteil der Durchlässigkeit des Festgesteins gewährt, liefert die Auswertung von Pumpversuchen, die das gesamte Gestein im Absenkungsbereich des Brunnens erfassen, einen Überblick über die Summe aller wirksamen hydraulischen Faktoren.

Bei aller kritischen Distanz, die für Permeabilitätsberechnungen im Festgestein angebracht sein mögen, seien im folgenden unterschiedliche Berechnungsverfahren angewendet, die eine Aussage über das hydraulische Verhalten des Grundwasser der Keupersandsteine gestatten.

Im Untersuchungsgebiet konnten Pumpversuche an insgesamt 98 Brunnen bearbeitet werden. Die Grundwasserhydraulischen Berechnungen wurden dabei mit unterschiedlichen Verfahren zur k-Wert-Bestimmung durchgeführt.

Ergebnis:

Tab.14 Hydraulische Kennwerte klüftig-poröser Keuper sandsteine

Berechnungsmethode	Anzahl Werte	Durchschnitts-wert	Standardabw.	Max.-Wert	Min.-Wert
a) k-Werte:					
THEIS/DÜRBAUM (m/s)	63	$1{,}3 \cdot 10^{-5}$	$1{,}3 \cdot 10^{-5}$	$5{,}0 \cdot 10^{-5}$	$1{,}4 \cdot 1$
THIEM/DUPUIT (m/s)	4	$2{,}6 \cdot 10^{-5}$	$9{,}3 \cdot 10^{-6}$	$3{,}9 \cdot 10^{-5}$	$9{,}7 \cdot 1$
BIESKE (m/s)	86	$1{,}1 \cdot 10^{-5}$	$6{,}0 \cdot 10^{-6}$	$2{,}6 \cdot 10^{-5}$	$1{,}2 \cdot 1$
GRIMM/HOFBAUER(m/s)	98	$1{,}3 \cdot 10^{-5}$	$7{,}9 \cdot 10^{-6}$	$3{,}5 \cdot 10^{-5}$	$1{,}9 \cdot 1$
b) Transmissivität					
LOGAN (m^2/s)	98	$1{,}0 \cdot 10^{-3}$	$6{,}0 \cdot 10^{-4}$	$4{,}6 \cdot 10^{-3}$	$1{,}0 \cdot 1$
c) spez. Erg. (l/s·m)	98	0,90	0,51	3,71	0,1
d) Speicherkoeffizient THEIS	3	$4{,}8 \cdot 10^{-4}$	$1{,}7 \cdot 10^{-4}$	$5{,}8 \cdot 10^{-4}$	$2{,}8 \cdot 1$

Die Auswertung ergibt eine konstant gute Übereinstimmung unterschiedlicher Rechenverfahren für die k-Wert-Bestimmung und bestätigt somit die Aussagen von HOFBAUER (in GRIMM & HOFBAUER 1967, S. 113, 114). Dies läßt sich am folgenden Beispiel erläutern:

Pumpversuch am Brunnen 3, Allersberg, in der Zeit vom 13. bis 17.01.1966 (Auszug aus dem Protokoll der Fa. OCHS GmbH, Nürnberg); der Ruhewasserspiegel wurde bei 19,70 m unter Gelände eingemessen, der Pumpversuch begann um 8^{00}.

Tab. 15 Pumpversuch am Brunnen 3, Allersberg

Zeit	Brunnen 3 Abs. (m)	Förderung (l/s)	Brunnen 2 Abs. (m)	Brunnen 1 Abs. (m)
13.01. 8^{00}	0,0	0,0	0,0	0,0
10^{00}	6,80	10,0	0,75	0,45
14.01. 8^{00}	7,51	10,0	1,33	0,90
8^{05}	10,63	15,2		
15.01. 8^{00}	12,11	15,2	2,20	1,46
16.01. 8^{00}	12,14	15,2	2,19	1,50
8^{05}	15,70	20,2		
16^{00}	16,90	20,2	2,80	1,91
17.01. 12^{00}	16,93	20,2	2,80	1,90

Am 17.01. 12^{00} war nach 100 Stunden Dauer der Pumpversuch beendet.

Der Wiederanstieg im Brunnen wurde wie folgt gemessen:

Zeit	Absenkung (m)
12^{05}	6,40
12^{15}	5,30
12^{30}	4,18
13^{00}	3,80

Die durchschnittliche Grundwassermächtigkeit beträgt 90,3 m, der Abstand zu Brunnen 1 ist 220 m, zu Brunnen 2 370 m, die durchschnittliche Grundwasserförderung betrug 0,015 m^3/s. Alle drei Brunnen erfassen den kbm-kbl mit gleichen Mächtigkeiten.

Ergebnis der Auswertung:

k-Wert nach THEIS/DÜRBAUM	$1,5 \cdot 10^{-5}$	(m/s)
k-Wert nach THIEM/DUPUIT	$1,5 \cdot 10^{-5}$	(m/s)
k-Wert nach BIESKE	$1,4 \cdot 10^{-5}$	(m/s)
k-Wert nach GRIMM/HOFBAUER	$1,6 \cdot 10^{-5}$	(m/s)
Transmissivität nach LOGAN	$1,6 \cdot 10^{-3}$	(m^2/s)
spez. Ergiebigkeit (1/3 Abs.)	1,3	(l/s·m)
Speicherkoeffizient	$2,8 \cdot 10^{-4}$	

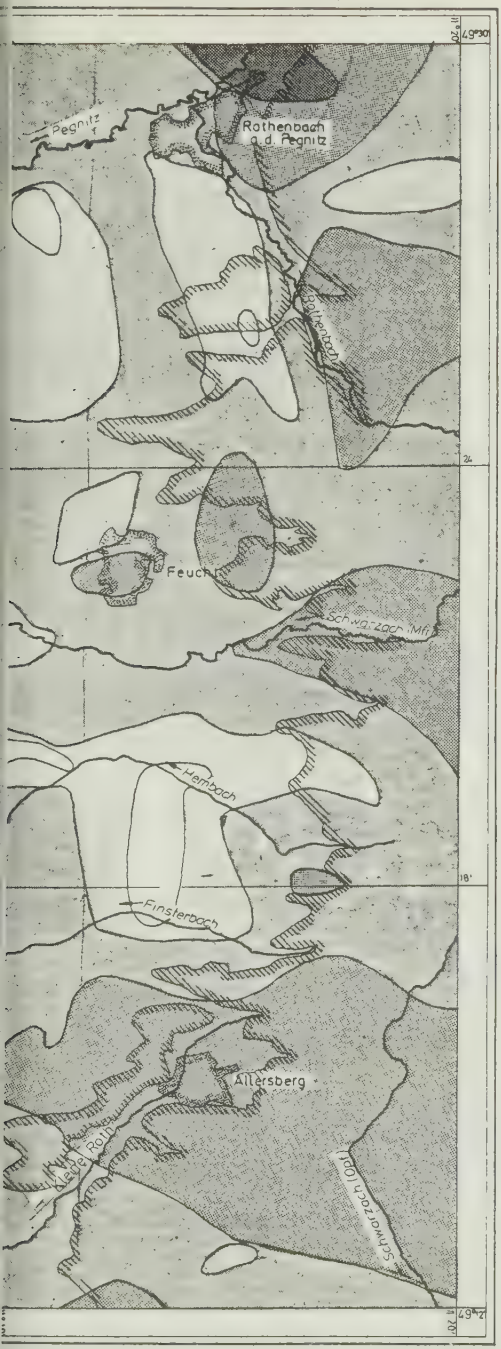
Wie auch bei Pumpversuchen in Feucht, in Schwarzenbruck und bei Brunnau kann eine sehr gute Übereinstimmung aller unterschiedlichen Rechenverfahren in Bezug auf die k-Werte beobachtet werden. Das hydraulische Verhalten des Druckgrundwasserspiegels der Keupersandsteine kann somit ähnlich beurteilt werden, wie das von Lockergesteinen, worauf, wie schon oben erwähnt, HOFBAUER bereits 1967 nach Auswertung von Pumpversuchen im Stadtgebiet von Nürnberg hingewiesen hat.

Von Interesse sind die geringen Schwankungen der Permeabilitäten im Arbeitsgebiet, deren Standardabweichungen der des Mittelwertes entsprechen und deren Maximal-und Minimalwerte ca. eine Zehner-Potenz auseinanderklaffen (vgl. hierzu Tab. 14).

Maximale Werte treten im Einflußbereich der nördlichen Flanke der Haidbergstörung (vgl. BERGER 1978, S. 110 - 112) auf, die nach URLICHS (1968) mit ca. 60° nach Norden abtaucht und wohl zu einer tiefgründigen Zerrüttung geführt hat: Die Brunnen 3 und 4, Rückersdorf, (vgl. Anlage 1, Profil 25) haben jeweils eine Förderleistung von bis zu 60,6 l/s bei 16,30 m Absenkung. Ähnlich hohe Ergiebigkeiten sind in dem oberen Tal der Schwarzach (Mfr.), dessen Anlage einen flach herzynischen Verlauf hat, mit bis zu 60 l/s bei 38 m Absenkung und bei Brunnau mit 20,2 l/s bei 9,5 m Absenkung nachweisbar.

Bereiche minimaler Ergiebigkeiten sind häufig eng mit tektonischen Hochs verknüpft, worauf bereits mehrere Autoren (BIRZER u. a.) verwiesen haben. Die niedrigsten Ergiebigkeiten sind dabei westlich des Pyrbaumer Hochs sowie bei Diepersdorf, Laufamholz (Nürnberg) und Brunn (Nürnberg) (vgl. Abb. 14) mit Brunnenleistungen von knapp 10 l/s bei ca. 40 m Absenkung errechenbar.

TE DER GRUNDWASSERERGIEBIGKEITEN
'30 NÜRNBERG (OSTTEIL)



ab 1 : 100 000

1 2 3 4 5km

J. Rietzler 1979

SPEZIFISCHE ERGIEBIGKEIT

Karte der spez. Grundwasserergiebigkeiten im Bereich des Grundwasserstockwerkes "Schilfsandstein bis Unterer Burgsandstein"

spez. Ergiebigkeit in l/s·m

- 0 -0,25
- 0,25-0,5
- 0,5 -1
- 1 -2
- >2

Pegnitz — Gewässer

Verbreitungsgrenze des bedeckten Sandsteinkeupers

Ortschaft

Im Vergleich zu den allseits benachbarten Gebieten des Mittleren Keupers beinhalten die festgestellten mittleren spezifischen Ergiebigkeiten überdurchschnittlich hohe Werte. Hierauf verweist bereits BIRZER (1969, S. 49 - 51). Während der genannte Autor dabei eine Brunnenleistung von 10 l/s bei 30 m Absenkung als "gut" für den Fränkischen Keuper im allgemeinen bezeichnet, macht er auf die außerordentlich hohen flächig ausgebildeten spezifischen Ergiebigkeiten u. a. für das Bearbeitungsgebiet der Blätter Röthenbach, Feucht und Allersberg aufmerksam (vgl. Abb. 14).

POLL (1978, S. 57) gibt für die Sandsteine des Feuerlettens k-Werte um $7 \cdot 10^{-5}$ bis $2 \cdot 10^{-4}$ m/s bei spezifischen Ergiebigkeiten von 0,6 bis 2,67 l/s · m mit einem Mittel von 1,02 l/s · m an.

3.6.1.3 Vergleich der Porendurchlässigkeiten zu den Gesamtdurchlässigkeiten

Stellt man die Ergebnisse beider Untersuchungsmethoden einander gegenüber, so sind deutliche Ähnlichkeiten feststellbar. Obwohl die k-Wert-Bestimmung von Bohrkernen, wie oben erwähnt, nur wenige und punktuelle Einblicke in die Grundwasserhydraulik eines zudem gespannten Grundwasserleiters gewährt und somit nicht überbewertet werden darf, sei dennoch nochmals darauf hingewiesen, daß der Porenwasseranteil an der Grundwasserförderung aus dem klüftig porösen Grundwasserleiter der Sandsteine des Mittleren Keupers spürbar hoch sein muß.

Tab. 16 Vergleich der Porendurchlässigkeit zu den Gebirgsdurchlässigkeiten

	k-Wert des Porenraumes (m/s) (Mittelwert aus der Messung ⊥ und //ss)	k-Wert des klüftig-porösen Gesteins (m/
Durchschnitt	$7{,}9 \cdot 10^{-6}$	$1{,}5 \cdot 10^{-5}$
Max.-Wert	$1{,}9 \cdot 10^{-4}$	$3{,}9 \cdot 10^{-5}$
Min.-Wert	$3{,}8 \cdot 10^{-7}$	$2{,}0 \cdot 10^{-6}$

Die aus der Grundwasserergiebigkeit des Festgesteins ableitbare k-Wert-Bestimmung ist demnach eine Funktion des durch die Summe aller Hohlräume vorgegebenen entwässerbaren Volumens.

3.6.1.4 Zur Grundwasserergiebigkeit der einzelnen stratrigraphischen Einheiten

GRIMM (in GRIMM & HOFBAUER 1967) gibt für das Stadtgebiet von Nürnberg für die einzelnen stratigraphischen Einheiten der Grundwasserstockwerke des Benker Sandsteins und Schilfsandsteins - Unterer Burgsandstein unterschiedliche k-Werte an. Er weist darauf hin, daß sich die Klüfte mit zunehmender Überlagerung schließen und dementsprechend eine k-Wert-Abnahme feststellbar ist.

Ähnlich verfährt POLL (1978), der ebenso aus der Auswertung von Pumpversuchen k-Werte einzelner Schichtglieder des Mittleren Keupers angibt.

Im Bereich des Arbeitsgebietes befinden sich nur wenige Brunnen, die lediglich eine einzige stratigraphische Einheit erfassen, so daß die Pumpversuche meist das Ergebnis der Summe der Ergiebigkeiten mehrerer Schichtglieder darstellen. Im folgenden sei ein anderer, rein qualitativer Weg zur Bestimmung der Gebirgsdurchlässigkeit diskutiert.

An Hand der Auswertung von bohrlochphysikalischen Vermessungen+, wie Gamma-log, Eigenpotential (SP), spez. elektr. Widerstand (1 m Meßlänge) und Widerstand (Messung GOK-Meßsonde) erscheint es möglich, eine Differenzierung von durchlässigen und nicht durchlässigen Gesteinen zu erhalten.

Die Auswertung von 6 derartigen Versuchsbohrungen, die im Bearbeitungsgebiet niedergebracht wurden, ergibt folgende Ergebnisse:

- bei allen 4 Vermessungen ist die Unterscheidung Tonstein (in Form von Basisletten der einzelnen Horizonte) - Sandstein möglich.

- Aufgrund der geophysikalischen Vermessungen ist eine Grundwasserführung im Bereich von Sandsteinen nachweisbar. Bei Anstehen von Tonsteinen kann in der Regel eine Grundwasserführung ausgeschlossen werden.

- Die Sandsteine des Oberen und Mittleren Burgsandsteins scheinen aufgrund der Widerstandsmessungen eine höhere Ergiebigkeit aufzuweisen als die Schichten des Unteren Burgsandsteins und Blasensandsteins.

+ Der Fa. ESSO ERZ GmbH, Nürnberg, sei für die freundliche Überlassung der Meßwerte gedankt.

- Die Schichten des kbu sind als ein homogenes Sedimentationspaket ausgebildet.

- Die Schichten vor allem des Oberen kbl i.w.S. (Coburger Sandstein) zeichnen sich durch raschen Wechsel von Tonen und Sandsteinen aus und unterscheiden sich deutlich von den Sedimenten des kbu.

3.6.2 Hydraulik der Sandsteine des Oberen Keupers

Die Sandsteine der Rät-Lias-Übergangsschichten sind, wie eingangs erwähnt, als ein tonig gebundenes Fein- bis Grobkorngemenge anzusehen. Die Auswertung von Kornsummenkurven nach eigenen Untersuchungen und Unterlagen der RMD, Nürnberg, (Abb. 13) läßt für den Anteil der Porenwasserströmung stark schwankende k-Werte von $2 \cdot 10^{-4}$ bis ca. $1 \cdot 10^{-8}$ m/s erwarten (Auswertung nach BEYER in HERTH/ARNDTS 1973). Die Auswertung von Pumpversuchen an insgesamt 6 Rätsandsteinbrunnen mit unterschiedlichen hydraulischen Berechnungen (vgl. hierzu Kap. 3.6.1.2) ergeben einen durchschnittlichen k-Wert von $1 \cdot 10^{-5}$ m/s bei einer Standardabweichung von $6 \cdot 10^{-6}$ m/s.

3.7 Jura

Die auftretenden Grundwässer des Juras sind durch eine Vielfalt von einzelnen, nur wenig miteinander in Kontakt stehenden Grundwasserhorizonten gekennzeichnet. Die drei Hauptgrundwasserleiter sind der Lias α_3 bis Lias γ, der Eisensandstein sowie der Malm. Weitere zum Teil nicht perennierende Grundwasserhorizonte sind in den Amaltheenschichten des Lias δ, in den drei dm mächtigen Kalkbänken des Lias ε und ganz vereinzelt in dem bis zu 85 m mächtigen Opalinuston des Doggers angesiedelt. Von örtlicher Bedeutung für die Grundwasserversorgung sind die Grundwässer des Juras im Bereich des Moritzberges sowie im südlichen Bereich des Gradabteilungsblatte Allersberg.

3.7.1 Lias α_3 bis Lias γ ($l\alpha_3 - l\gamma$)

Die Mächtigkeit dieses Schichtpaketes beträgt 5 m (BERGER 1969) bis 6,7 m (URLICHS 1968) und stellt im Hangenden des Rätsandsteins einen deutlichen Quellhorizont dar. Die gemessene Gesamtschüttung von insgesamt 14 Quellen beträgt für das Arbeitsgebiet 7 l/s.

Die zum Teil großflächig zutage tretenden Schichten des Lias α_3 unterliegen zumeist einer intensiven landwirtschaftlichen Nutzung.

Aufgrund seiner nur geringen Gesteinsmächtigkeit wurde dieser Grundwasserleiter zusammen mit dem Grundwasserleiter des kol in der Karte der Grundwasserhöhengleichen (Anlage 2b) dargestellt. Obwohl ohne Zweifel zwischen beiden Grundwasserleitern ein hydraulischer Kontakt besteht, sei ausdrücklich darauf hingewiesen, daß beide Grundwasserleiter einen voneinander signifikant abweichenden Grundwasserchemismus besitzen.

BERGLER (1937) führte eingehende Untersuchungen des Arietensandsteins durch. Hiernach ist dieser als ein sehr harter, grobkörniger bis konglomeratischer Kalksandstein ausgebildet. Kalk tritt dabei als Bindemittel von vornehmlich Quarzsanden und -feinkiesen auf. Deutlich ist der fast immer vorhandene Brauneisen-Gehalt, der auch bestimmend für die braune Farbe des Arietensandsteins ist. Im Bereich der Freystadt - Weißenburger Schwelle kam nach BERGLER (1937) der $1\alpha_3$ nicht zur Ablagerung. Dieser Gesteinskomplex wird von fein- bis grobsandigen Mergeln des Lias ß bis zu 0,45 m mächtig überlagert (URLICHS 1968). KRUMBECK (1932) weist auf hierin abgelagerte grobsandführende Geoden hin, deren Phosphat-Gehalt bis zu 29 % P_2O_5 erreichen kann.

Das Hangende dieses zusammengefaßten Grundwasserleiters wird von den bis zu 3,05 m mächtigen, dünn gebankten Kalken und Dolomiten des 1γ gebildet (URLICHS 1968).

Diese Karbonate dürften aufgrund ihrer petrographischen Ausbildung dem Grundwasserleiter des $1\alpha_3 - 1\gamma$ ihr Gepräge geben.

Zur Hydrochemie

Der Grundwasserleiter des Unteren Lias führt im Mittel ein hartes Grundwasser. Aus der Beprobung von 17 Quellen und Brunnen ergab sich folgender mittlere Grundwasserchemismus:

Tab. 17 Grundwasserchemismus des Lias $\alpha_3 - \gamma$

	Mittelwert	Standardabw.		Mittelwert	Standardabw.
Temperatur	10,7 °C	2,6	HCO_3 (mg/l)	250	101
Leitf. (mS/m)	70,2	22,8	SO_4 (mg/l)	113	93,9
			Cl (mg/l)	39,5	23,2
pH-Wert	7,19	0,45	NO_3 (mg/l)	41,9	37,3

	Mittelwert	Standardabw.		Mittelwert	Standard
Ca (mg/l)	111	34,5	NH_4 (mg/l)	0,14	0,1
Mg (mg/l)	21,8	15,2	PO_4 (mg/l)	0,20	0,2
Na (mg/l)	11,4	10,4	F (mg/l)	0,17	0,1
K (mg/l)	18,3	38,8	SiO_2(mg/l)	6,7	1,8
Fe (mg/l)	0,96	3,48	zug.(mg/l) CO_2	28,0	18,0
Mn (mg/l)	0,10	0,20			
Ges.Härte °dH	20,5	8,3	Sätt.Ind.	-0,25	0,5
Karb.Härte°dH	11,5	4,6	Eh (mV)	+330	65

Es ergibt sich nach der statistischen Auswertung ein Ca-HCO_3-SO_4-Wasser mit deutlicher Zuordnung des Mg und merklichen Gehalten von anthropogen bedingtem NO_3, Cl, Na und K. Ferner sind häufig spürbare Gehalte an Fe nachweisbar. Die Herkunft der meist hohen SO_4-Gehalte dürfte, in Anlehnung an die Arbeiten von MATTHES (1962, S. 348), sowohl aus der Düngung und aus Siedlungsabfällen wie auch aus dem geologisch bedingten Angebot der Sickerwässer an Gips aus dem überlagernden lγ abzuleiten sein. Trotz der beschriebenen phosphathaltigen Geoden kann keine nennenswerte Erhöhung erkannt werden.

Mit Hilfe der Faktorenanalyse läßt sich ein von den bisherigen "Sandsteintypen" abweichender "Kalksandsteintypus" ermitteln. Dieser unterscheidet sich durch entgegengesetzte Faktorenladungen der Hauptinhaltsstoffe von den bisher beschriebenen Typen.

Ein weiteres Charakteristikum dieses Grundwasserleiters ist, daß das Grundwasser fast immer im Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht steht und im Mittel nur geringe Mengen an aggr. CO_2 führt.

Wie schon oben erwähnt, unterliegt dieses Schichtglied einer intensiven landwirtschaftlichen Nutzung. Gehalte von über 90 mg NO_3/l sind nachweisbar (Sprosselbrunnen, westlich Schönberg). Die Überschreitung dieses von der Trinkwasserverordnung im Jahre 1975 vorgegebenen, ohnehin sehr hohen Nitrat-Gehaltes läßt somit vom chemischen Standpunkt aus nur eine bedingte Verwendung dieses Grundwasserleiters für Trinkwasserzwecke zu.

.7.2 Posidonienschichten und Jurensismergel
(1ε und 1ζ)

Obwohl an die genannten stratigraphischen Einheiten nur zum Teil Nässehorizonte gebunden sind, seien sie wegen ihres eigenen Grundwasserchemismus erwähnt.

Die ca. 3 m mächtigen Schichten des 1ε sind charakterisiert durch die Ausbildung dreier Kalkbänke, die sich innerhalb von tonigen Papierschiefern befinden (URLICHS 1968, BERGER 1969). Erwähnt sei auch die Beschreibung der Papierschiefer durch URLICHS (1968, S. 36), die von bituminösen, pyrithaltigen und schwach kalkhaltigen Tonschiefern berichtet.

Das jüngste Schichtglied des Lias, die Jurensismergel, wird von den oben genannten Autoren als ein plastischer grüngrauer Mergel beschrieben. Es dürfte somit als Grundwasserstauer angesehen werden.

Zur Hydrochemie

Bemerkenswert ist, daß im Bereich des Oberen Lias zwischen Haimendorf und Weigenhofen, nordwestlich des Moritzberges, die einzigen beiden erschlossenen Mineralquellen im Sinne der Definition (> 1 g - gelöste Salze pro 1 kg Wasser) im Bearbeitungsgebiet auftreten (vgl. hierzu Kap. 10). Aufgrund ihrer geringen Schüttungen (0,1 l/s) dürften diese Quellen jedoch nur geringe Bedeutung erlangen.

Die im folgenden wiedergegebene Analysentabelle bezieht sich auf die Beprobung von insgesamt 17 Quellaustritten, die zum Teil nicht perennierend sind.

Tab. 18 Grundwasserchemismus der Posidonienschichten und Jurensismergel

	Mittelwert	Standardabw.		Mittelwert	Standardabw.
Temperatur °C	10,1	2,1	HCO_3 (mg/l)	229	94,7
Leitf. (mS/m)	62,8	38,3	SO_4 (mg/l)	175	255
			Cl (mg/l)	22,8	11,5
pH-Wert	7,22	0,52	NO_3 (mg/l)	19,1	24,8
Ca (mg/l)	116	78,2	NH_4 (mg/l)	0,09	0,06
Mg (mg/l)	27,2	26,6	PO_4 (mg/l)	0,11	0,09
Na (mg/l)	6,0	3,0	F (mg/l)	0,20	0,12
K (mg/l)	3,5	4,3	SiO_2 (mg/l)	7,1	1,4
Fe (mg/l)	0,3	0,7	zug. CO_2 (mg/l)	19,3	19,0
Mn (mg/l)	0,06	0,04			
Ges.Härte °dH	22,4	17,1	Sätt.Ind.	- 0,29	0,74
Karb.Härte °dH	10,5	4,3	Eh (mV)	+315	60

Demnach entspricht diesem grundwasserführenden Bereich im Mittel ein hartes Wasser mit hohen Ca-, SO_4- und HCO_3-Gehalten. Nach Auswertung der Matrix der rotierten Faktoren besteht ein hoher ursächlicher und signifikanter Zusammenhang zwischen Ca und SO_4. Es handelt sich somit um ein Ca-SO_4-Wasser. Mg und in sehr abgeschwächter Form HCO_3 weisen auf bestehende Zusammenhänge hin; beide Ionen treten in der Korrelationsmatrix mit gegenseitigen linearen Abhängigkeiten auf.

Die Auswertung mit Hilfe der statistischen Verfahren erbrachte folgende weitere Ergebnisse:

NH_4 und Fe korrelieren fast vollständig miteinander und sind Ausdruck des NO_3-reduzierenden Milieus.

K und NO_3 weisen gleichgerichtete und hohe Faktorenladungen auf und sind dem derzeitigen anorganischen Düngemitteleintrag zuzuordnen.

Die übrigen Inhaltsstoffe, vor allem Na und Cl sind in der Korrelations- und Faktorenmatrix diffus verteilt. Weitere Zusammenhänge können nicht nachgewiesen werden.

3.7.3 Eisensandstein (bß)

Das mächtigste Grundwasser-führende Schichtpaket des Juras stellt im Bearbeitungsgebiet der Eisensandstein dar. Diese Formation findet am Moritzberg ihre größte Ausdehnung mit einer überschlägigen Fläche von ca. 2,0 . 0,5 km. Die entsprechend dem nordostwärtigen Einfallen im Nordosten des Moritzberges auftretenden Schichtquellen am Übergang zum liegenden Opalinuston weisen insgesamt Schüttungen von ca. 2,9 - 7,0 l/s bzw. 0,09 - 0,22 hm^3/a auf. Die Quellen dienten bisher im wesentlichen der Wasserversorgung der Ortschaften Weigenhofen, Reuth, Weihersberg und Pötzling mit einer Einwohnerschaft von ca. 300 Personen.

Bezüglich der Petrographie wird auf die Ausführungen von HÖRAUF (1959) verwiesen. Es handelt sich um einen stets feinkörnigen klüftig-porösen Sandstein, dessen Einzelkomponenten nach eigenen Aufnahmen mit dem REM (Tafel, Abb. 1, 2) deutliche Korrosionsspuren aufweisen. Intergranulare postsedimentäre Calcitsprossungen und Tonmineraldeckschichten prägen das Sedimentgefüge. Die Grundwasserführung dürfte sich infolgedessen im wesentlichen auf die Klüfte beschränken. Ein weiteres Indiz für einen hohen Anteil an Kluftwasser stellen die außerordentlich starken Quellschüttungsschwankungen nahezu aller Quellen im Sommer- und Winterhalbjahr sowie die nur geringe Grundwassermächtigkeit des Eisensandsteins dar.

Zur Hydrochemie

Aus dem Eisensandstein wird im Schnitt ein ziemlich hartes Wasser mit wechselnden Mengen an gelöstem Eisen und aggr. Kohlensäure gefördert. Der im folgenden wiedergegebene Typchemismus ist ein Mittelwert von 14 Analysen, die im Herbst 1977 angefertigt wurden.

Tab. 19 Grundwasserchemismus des Eisensandsteins

	Mittelwert	Standardabw.		Mittelwert	Standardabw.
Temperatur °C	10,4	1,8	HCO_3 (mg/l)	205	78
Leitf. (mS/m)	40,3	9,6	SO_4 (mg/l)	50	28
pH-Wert	6,98	0,63	Cl (mg/l)	10,4	5,5
Ca (mg/l)	76,5	26,2	NO_3 (mg/l)	8,1	10,0
Mg (mg/l)	10,1	4,4	NH_4 (mg/l)	0,08	0,05
Na (mg/l)	2,4	0,6	PO_4 (mg/l)	0,09	0,03
K (mg/l)	2,5	1,8	F (mg/l)	0,19	0,09
Fe (mg/l)	0,13	0,19	SiO_2 (mg/l)	8,3	3,6
Mn (mg/l)	0,05		zug. CO_2 (mg/l)	11,1	7,7
Ges.Härte °dH	13,0	4,7	Sätt.Ind.	-0,79	1,09
Karb.Härte °dH	9,4	3,6	Eh (mV)	+335	50

Mit Hilfe der statistischen Auswertung kann nachgewiesen werden, daß das geförderte Grundwasser dem Sandsteintypus der Keupersandsteine entspricht. Es handelt sich somit um ein Ca-Mg-HCO_3-Wasser.

Auffallend ist eine ansonsten nirgendwo nachzuweisende positive Korrelation des K mit dem SiO_2 in der korrelativen Faktorenanalyse.

Die als Verschmutzungsindikatoren geltenden Na-, Cl- und NO_3-Gehalte weisen gleichgerichtete und hohe Faktorenladungen auf und sind Hinweis auf eine bestehende anthropogene Beeinträchtigung des Eisensandstein-Grundwassers am Moritzberg. Aufgrund der jeweils nur sehr kleinen Gehalte und der niedrigen Standardabweichungen (Ausnahme: NO_3) ist diese Beeinträchtigung gering und flächig wirksam.

3.7.4. Malm

Der noch in einer Fläche von ca. 0,4 · 0,3 km vorhandene, deutlich verkarstete Malm des Moritzberges wird durch lediglich eine in ihrer Schüttung stark schwankende Quelle (ca. 0,02 - 3 l/s) entwässert. Aufgrund des geringen Einzugsgebietes hat dieser Grundwasserleiter nur eine sehr geringfügige Bedeutung. Da mir für die Bearbeitung nur eine einzige Analyse zur Verfügung stand (Analyse Nr.6512), ist eine signifikante Aussage nicht möglich.

4. Quartäre Porengrundwasserleiter

Wie schon in dem einleitenden Kapitel (Pkt. 1.2) beschrieben, wird der Keuper und z. T. Jura-Untergrund zwischen Pegnitz und Rednitz bis hin zur Wasserscheide Donau/Main durch ein ausgeprägtes Relief geprägt. Mit Ausnahme des heutigen Verlaufs der Schwarzach (Mfr.) von Gsteinach bis zur Gauchsbachmündung bei Röthenbach/St.Wolfgang sind alle Täler mit bis zu 50 m mächtigen quartären Sedimenten verfüllt. Diese pleistozänen Füllungen stellen einen überragenden Grundwasserleiter wie auch Grundwasserspeicher dar. Wegen der oft mangelhaften Möglichkeiten zum Schutz dieses Grundwasserleiters vor anthropogenen Beeinträchtigungen ist eine Nutzung zum Teil gefährdet. Insgesamt lassen sich zwei herausragende Arten von quartären Grundwasserleitern unterscheiden:

- Die z. T. schwach gespannten Grundwässer (dm-Betrag) rein fluviatiler Ablagerungen mit Sedimenten der Ober- und Hauptterrasse.

- Der Grundwasserleiter pleistozäner "Terrassensande" mit Ausbildung zumeist homogener Sedimente.

Da sich beide quartären Grundwasserleiter in ihrem chemischen und hydraulischen Verhalten grundsätzlich unterscheiden, werden sie im folgenden getrennt beschrieben.

4.1 Quartäre fluviatile Terrassenbildungen

4.1.1 Das Pleistozän der Pegnitz

Genese

SPÖCKER (1964) unterscheidet vier Erosions- und Aufschüttungsphasen in je einer Interglazial- und Glazialzeit. Dabei wurden jeweils z. T. örtlich voneinander abweichende

Flußläufe geschaffen (GRIMM & HOFBAUER, 1969). Nach BIRZER (1957) ist "das begrabene Tal vom heutigen Pegnitztal bis zu 1,5 km entfernt und ist eine 600 bis 1000 m breite, von Ablagerungen erfüllte Rinne; die größte erhaltene Mächtigkeit der Füllung beträgt 22 m". Die ältesten nachgewiesenen Schotter sind Hornsteinschotter mindestens des Günz-Glazials (URLICHS 1968). Charakteristische Ablagerungen des Würm- und eventuell des Riß-Glazials sind Kalkschotter mit bis zu 3 m Mächtigkeit bei Nürnberg (STAHL, 1930) und bis zu 6,8 m in Erlenstegen-Mühlhof. Nach THIELE (1961) läßt sich das Pleistozän speziell im Bereich um Behringersdorf wie folgt gliedern:

"Der Ablagerung der Oberterrassen folgte eine Zeit sehr starker Erosionstätigkeit der diluvialen Pegnitz, bei der diese Terrasse weitgehend zerstört und die Flußsohle um über 30 m tief eingeschnitten wurde. Hierauf erfolgte die frühwürmeiszeitliche Schüttung der Hauptterrasse in zwei Phasen, wobei zwischen beiden Perioden keine Erosion stattfand" (Trennung z.T. durch Hochflutlehmdecke). "Die untere, ältere Hauptterrasse ist durch bis zu 7 m mächtige Grobsande, grobe Kiese und Kalkschotter charakterisiert. Die jüngere, obere Hauptterrasse besteht aus gelbbraunen bis grauen Mittel- und Grobsanden mit wenig Kiesbeimengungen."

In Übereinstimmung mit dieser Aussage weist POLL (1974) ebenso auf die sehr starke Eintiefung (30 m) des Regnitzsystems während des Günz-Mindel-Interglazials hin, mit rißeiszeitlicher Akkumulation der sandigen Oberterrassen bis zu 30 m über das Erosionsniveau.

Legt man die wohl etwas schematisierende Beschreibung von THIELE (1961) zugrunde, so eignet sich für die Grundwasserführung bzw. -nutzung in erster Linie die ältere, untere Hauptterrasse.

Tab. 20 Chemismus der Grundwässer der Pegnitz-Alluvionen nach Unterlagen der EWAG, Nürnberg

		max.	min.	Durchschnitt	(zum Vergleich alpine Kalkschotterwässer GERB 1958)
Temperatur	°C	10	6	8,5	
Leitfähigkeit	(mS/m)	45	35	42	
pH-Wert		7,62	7.32	7,47	7,3 ± 0,2
Ca	(mg/l)	72	64	68	85,1 ± 15
Mg	(mg/l)	21	14	18	22,1 ± 3,9
Na	(mg/l)	9,3	7,4	8,3	prakt. 0
K	(mg/l)	3,7	2,7	3,2	prakt. 0
Fe	(mg/l)	1,6		0,0	
Mn	(mg/l)	1,14	0,0	0,0	
HCO_3	(mg/l)	275	226	241	348 ± 65
SO_4	(mg/l)	40	24	33	Spuren
Cl	(mg/l)	33	20	27	Spuren
NO_3	(mg/l)	20	11	14	Spuren
PO_4	(mg/l)	0,14	0,02	0,07	Spuren
SiO_2	(mg/l)	8	2	5	2 - 15
fr. zug. CO_2	(mg/l)	22	15	17	2 - 15
$KMnO_4$ - Verb.	(mg/l)	4,7	1,3	2,6	2 - 4
O_2-Sätt.	(%)	66	19	46	60 - 90
Ges.Härte	°dH	14,6	13,2	14,0	17 ± 3
Karb.Härte	°dH	12,6	10,4	11,1	16 ± 3

4.1.1.1 Zur Hydrochemie

Der oben (S. 89) wiedergegebene Grundwasserchemismus weist ein mäßig hartes Grundwasser des Pegnitz-Quartärs nach. Dabei ähneln die Grundwässer dem von GERB (1958) beschriebenen Typus alpiner Kalkschotterwässer (Tab.20).

Die Grundwässer stellen Gleichgewichtswässer dar, wobei die berechneten pH-Werte in etwa mit den gemessenen übereinstimmen. Merkliche Gehalte an Alkaliionen und an Sulfat-, Chorid- und Nitrationen sind Hinweise auf eine geringe anthropogene Beeinflussung.

4.1.1.2 Grundwasserhydraulik

Wie bereits erwähnt, sind die Grundwässer des Pegnitzquartärs gespannt. Während in Rückersdorf und Röthenbach/Pegnitz Beträge von bis zu 5 m Aufstieg nachgewiesen worden sind, lassen sich im Bereich der Autobahnbrücke Behringersdorf noch Anstiege des Grundwassers im dm-Bereich ermitteln.
Ferner sei darauf aufmerksam gemacht, daß der Druckgrundwasserspiegel des Keupers den des Quartärs im Bereich der Pegnitz überlagert (vgl. Kap. 5.3, S. 115). Der Übergang des Grundwassers von der im Sinne von THIELE unteren Hauptterrasse zur oberen Hauptterrasse ist zudem durch die erwähnte Hochflutlehmdecke behindert und führt zu dem erwähnten Staueffekt.

In Bereichen starker Grundwassernutzung (Erlenstegen-Mühlhof) werden diese natürlichen gespannten Verhältnisse in einem engen Umkreis von ca. 200 m lokal weitgehend abgebaut.

Aufgrund der großen Fülle von vorhandenen hydraulischen Daten bietet sich in diesem Bereich der Vergleich von unterschiedlichen Rechenmethoden zur Bestimmung der entnehmbaren Grundwasserquantitäten an (zur Methodik vergleiche Kap. 2.3.3.2).

Tab. 21 Bestimmung des k-Wertes mit Hilfe unterschiedlicher Berechnungsmethoden

Berechnungsgrundlage Pumpversuch	Anzahl d. Variablen	k-Wert (m/s) Durchschnitt	min.	max.
a) BIESKE, GRIMM/HOFBAUER	88	$5{,}2 \cdot 10^{-4}$	$3{,}1 \cdot 10^{-4}$	$8{,}8 \cdot 10^{-4}$
b) THIEM-DUPUIT	64	$8{,}7 \cdot 10^{-4}$	$4{,}7 \cdot 10^{-4}$	$1{,}6 \cdot 10^{-3}$
c) THEIS-JACOB (k-Wertbestimmung aus dem Wiederanstieg)	6	$1{,}5 \cdot 10^{-3}$	$9{,}0 \cdot 10^{-4}$	$3{,}0 \cdot 10^{-3}$
Kornsummenkurve (Auswertung nach BEYER in HERTH/ARNDTS 1973)				
d) Obere Hauptterrasse	34	$4{,}6 \cdot 10^{-4}$	$3{,}5 \cdot 10^{-4}$	$6{,}0 \cdot 10^{-4}$
e) Untere Hauptterrasse	44	$9{,}1 \cdot 10^{-4}$	$3{,}5 \cdot 10^{-4}$	$3{,}1 \cdot 10^{-3}$

Die den Berechnungen zugrunde liegenden Meßdaten konnten bei der EWAG Nürnberg, eingesehen werden und beziehen sich auf die Wasserfassungen bei Erlenstegen-Mühlhof.

Aus dem Durchschnitt der Kornsummenkurven ergibt sich, daß die Schichten der Unteren Hauptterrasse einen um den Faktor 2 besseren k-Wert als die Obere Hauptterrasse aufweisen (Abb.15, S.92).

Bei Vergleich mit den durch die THIEM-DUPUIT'schen Brunnenformel ermittelten k-Werten zeigen sich große Ähnlichkeiten zwischen den durch die Absenkung gemessenen Werten mit den durch die Kornsummenkurve nach BEYER erhaltenen Werten für die Untere Hauptterrasse. Diese wirkt bei einer Entnahmebelastung drainierend auf die Obere Hauptterrasse und ist der Hauptgrundwasserspender.

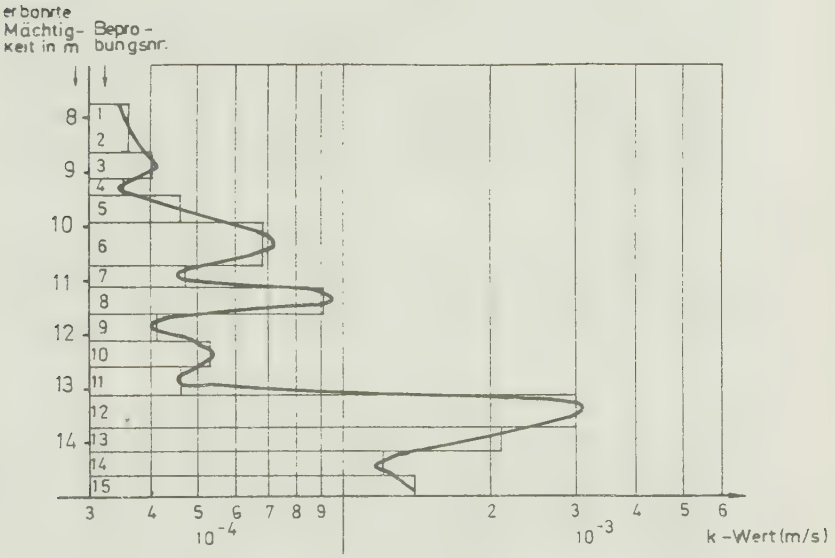
Die durch die empirischen Formeln ermittelten zu niedrigen k-Werte sind merklich in Bezug auf die durch die THIEM-DUPUIT'schen Formel erhaltenen Werte. Bei Vergleich mit den Kornsummenkurven fällt eine große Ähnlichkeit mit den k-Werten der Oberen Hauptterrasse auf. Offenbar wird bei der Messung der Grundwasserabsenkung im Brunnen der schlechtere k-Wert der Oberen Hauptterrasse mitgeteilt.

Die Nutzanwendung empirischer Formeln scheint somit bei der k-Wert - Berechnung für inhomogene fluviatile quartäre Grundwasserleiter nicht statthaft zu sein.
Es sei in diesem Zusammenhang noch darauf hingewiesen, daß bei den mehr oder weniger stark auftretenden Brunnenverokkerungen der Grundwassereintrittswiderstand zwischen Brunnenfilter und Filterkies vergrößert ist. Durch die Verengung des

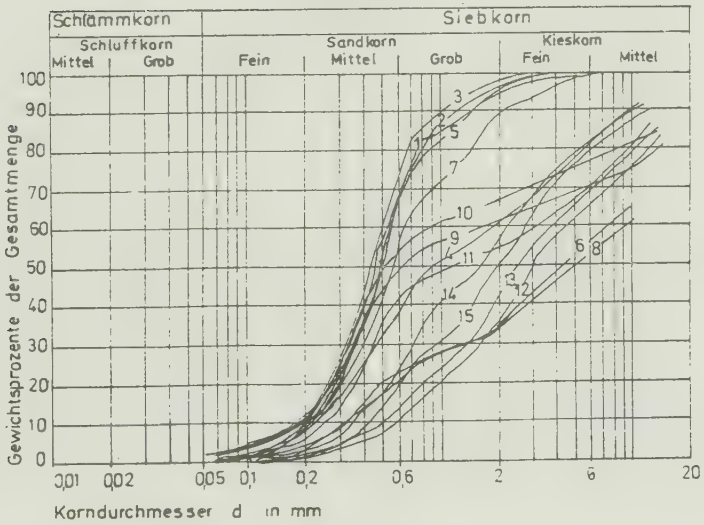
Abb.15:

Durchlässigkeitsbeiwert (k) des Pegnitz - Quartärs

(untere Hauptterrasse)



Körnungskurve



Die Nummern 1-15 entsprechen den einzelnen Probeentnahmen

Eingangsquerschnittes ist die Leistungscharakteristik des Brunnens vermindert bei gleichzeitig erhöhter Absenkung und rein rechnerischer Verminderung des k-Wertes durch die empirische Formel. In der Praxis wird diese Erscheinung dazu verwendet, um aus der Wasserspiegeldifferenz eines Peilrohres außerhalb des Filters und der Absenkung im Brunnen das Maß der Verockerung festzustellen. Unter diesem Gesichtspunkt sei weiterhin die Problematik der Bemessung einer Sickerstrecke im Brunnen genannt (HERTH/ ARNDTS 1973, S. 45).

Eine Beurteilung des k-Wertes durch die Messung des Grundwasserwiederanstiegs im Brunnen nach einem Pumpversuch erscheint aufgrund des geringen zur Verfügung stehenden Datenmaterials wenig signifikant. Dennoch sei auf die relativ gute Übereinstimmung mit den Ergebnissen der THIEM-DUPUIT'schen Formel hingewiesen.

4.1.1.3 Bestimmung des nutzbaren Porenvolumens n_{eff}

Die Ermittlung der für eine optimale Bewirtschaftung notwendigen Kenntnis des nutzbaren Porenvolumens ergibt nach MAROTZ (1968) bei einem durchschnittlichen k-Wert von 9,1 · 10^{-4} m/s Nutzporositäten von ca. 14 % für die Untere Hauptterrasse und bei durchschnittlichen k-Werten von 4,6 · 10^{-4} m/s ca. 10 % für die Obere Hauptterrasse.

4.1.1.4 Bestimmung der Abstandsgeschwindigkeit

Bei Salzungsversuchen im Jahre 1969 durch die EWAG, Nürnberg, wurden Abstandsgeschwindigkeiten von durchschnittlich 2 · 10^{-4} m/s bei einem wirksamen hydraulischen Grundwassergefälle von 4 % festgestellt.

4.1.2 Das Pleistozän der Hinteren Schwarzach (Opf.)

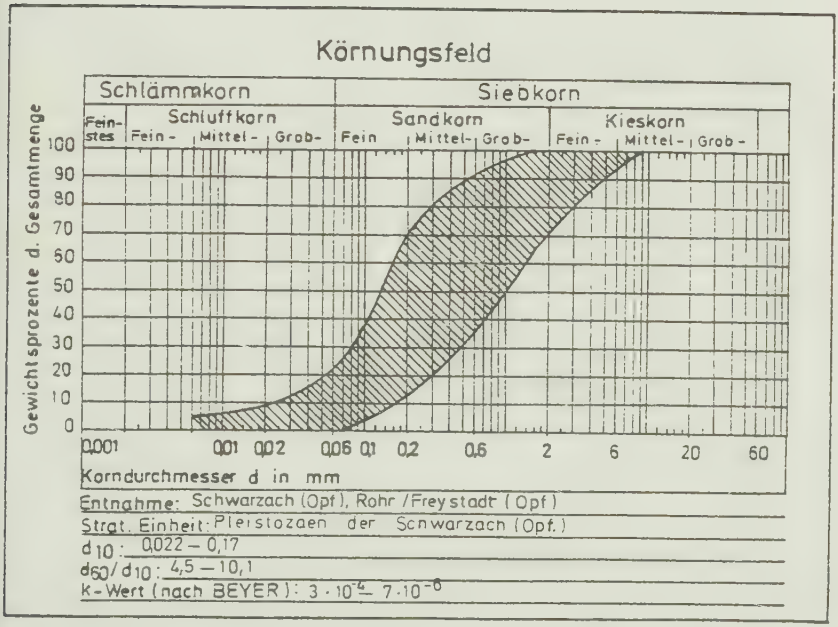
Die quartären Ablagerungen der Schwarzach (Opf.) weisen Mindestmächtigkeiten von ca. 16 m auf. Die diluvialen Sedimente sind dabei in einem im Bearbeitungsgebiet tief in den Feuerletten eingeschnittenen Rinnensystem abgelagert. Die Sedimente setzen sich im Hangenden aus bis zu 8 m mächtigen, wohl aus dem Dogger ß abzuleitenden Feinsanden und im Liegenden aus mindestens 8 m mächtigen kiesigen Fein- bis Mittelsanden zusammen (Abb. 16). Diese Sedimente werden von Tonen der rezenten Schwarzach bis zu 4 m mächtig überlagert. WAGNER (1923, S. 88, 89) weist

darauf hin, daß das ehemalige Einzugsgebiet der Schwarzach (Opf.) bis über Feucht hinaus gereicht haben mag.

Das Grundwasser des Schwarzach (Opf.)-Quartärs ist zum Teil schwach gespannt.

Abb. 16 Kornsummenkurve der Schwarzach-Alluvionen (Hangendsedimente)

Abb. 16:



Aus der Abb. 16 lassen sich die k-Werte nach der Methode von BEYER (in HERTH/ARNDTS 1973) ermitteln: sie betragen im Ø 2,5 · 10^{-6} m/s bei Ungleichförmigkeitsgraden bis zu 10.

4.1.2.1 Zur Hydrochemie

Bei vereinzelten Hauswasserversorgungen konnte ein Typchemismus festgestellt werden, der der in der Tab. 22 dargelegten Analyse Nr. 6737 eines Hausbrunnens in Rohr (Opf.) entspricht.

Die sehr starke anthropogene Einflußnahme auf das Grundwasser spiegelt sich in den hohen Gehalten an Alkali-, Sulfat-, Chlorid-, Nitrat- und Ammonium-Ionen und vor allem in den Phosphat-Gehalten wieder. Angesichts des aus den k-Werten ableitbaren geringen unterirdischen Abflusses sowie bedingt durch die Drainierung des gesamten Schwarzach (Opf.)-Tales und einem damit verbundenen verstärkten Kreislauf von Düngemitteln überraschen die erhaltenen Werte nicht. Eine Grundwassernutzung kann somit nur für betriebliche Hauswasserversorgungen empfohlen werden und ist für den Trinkwassergebrauch aufgrund der chemischen Daten nicht geeignet.

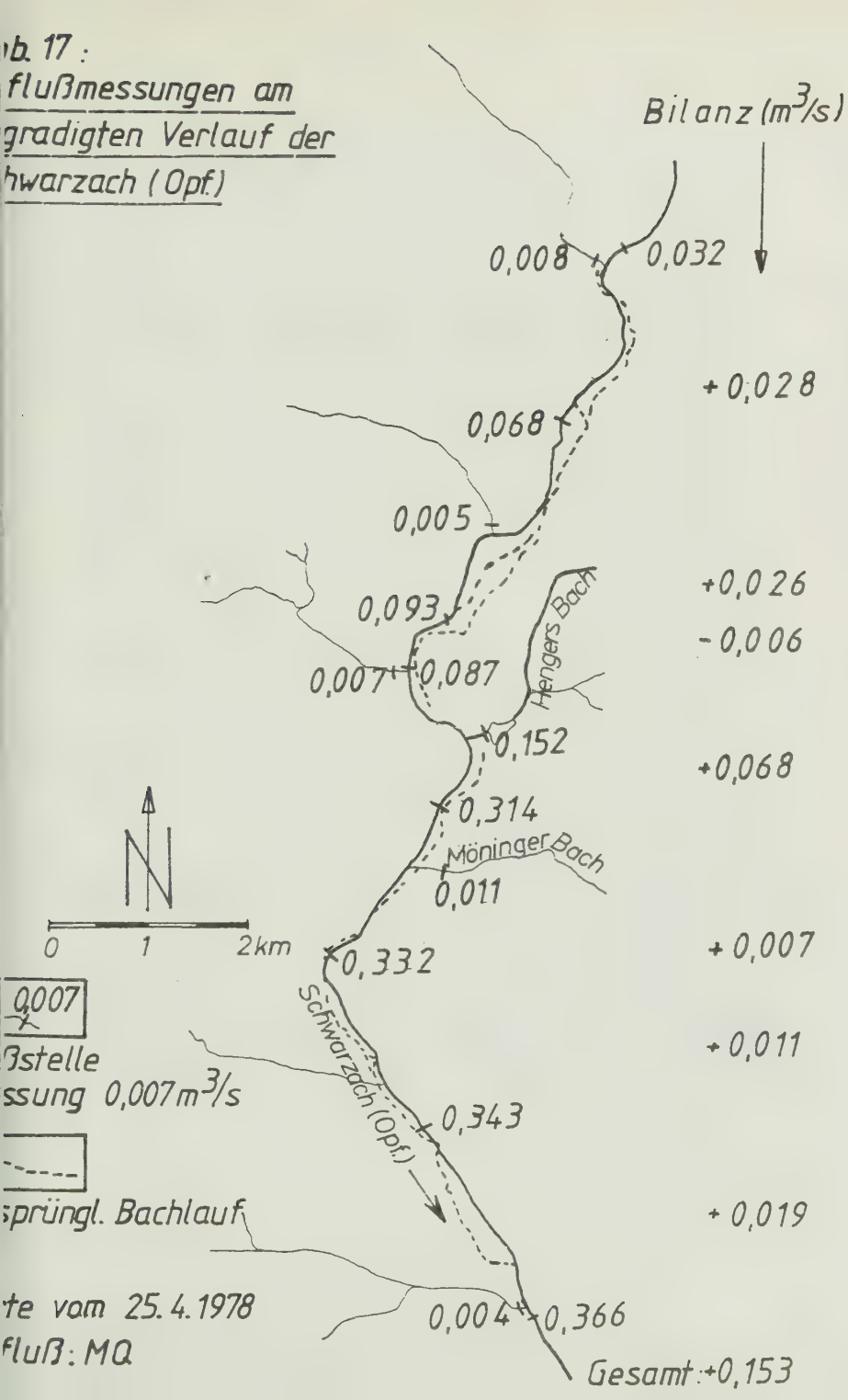
Tab. 22 Chemismus der Grundwässer der Schwarzach-Alluvione

Analysennummer 6737

pH-Wert		7,03	SO_4	(mg/l)	99
Eh-Wert (mV)		+300	Cl	(mg/l)	42,8
Leitfähig-keit	(mS/m)	92,0	NO_3	(mg/l)	86,2
			NH_4	(mg/l)	0,13
Ca	(mg/l)	92,6	PO_4	(mg/l)	9,50
Mg	(mg/l)	11,9	F	(mg/l)	0,10
Na	(mg/l)	30,0	SiO_2	(mg/l)	18,5
K	(mg/l)	88,0	Ges.Härte	(°d)	15,7
Fe	(mg/l)	0,24	Karb.Härte	(°d)	12,4
Mn	(mg/l)	0,05	zug. CO_2	(mg/l)	15,9
HCO_3	(mg/l)	270	Sätt.Ind.		-0,43

4.1.2.2 Zur Frage der Uferfiltration

Da der Flußlauf der Schwarzach (Opf.) schon ab der Jahrhundertwende infolge des geringen Gefälles fast vollständig begradigt worden ist, wurden Abflußmessungen durchgeführt (Abb. 17), um die Kontakte des jetzigen begradigten Gewässerverlaufs mit dem ehemaligen Bachverlauf zu überprüfen. Es sollten die Wechselbeziehungen Uferfiltration - Vorflut nachgewiesen werden.



b. 17 :
flußmessungen am
gradigten Verlauf der
hwarzach (Opf.)

Bstelle
ssung 0,007 m^3/s

sprüngl. Bachlauf

te vom 25.4.1978
fluß: MQ

Wie aus der Abb.17 ersichtlich, kann im Bereich von Seligenporten eine spürbare Uferfiltration nachgewiesen werden. Im Verlauf der übrigen Schwarzach (Opf.) dient diese als wirksamer Vorfluter ihrer diluvialen Ablagerungen.

4.1.3 Das Pleistozän der Schwarzach (Mfr.) zwischen Burgthann und Schwarzenbruck, der Kleinen Roth, des Hembaches, des Finsterbaches und des Gauchsbaches

Die nach Westen zur Rednitz abfließenden Gewässersysteme zeichnen sich durch ihr jeweiliges tiefes Einschneiden in den Keuperuntergrund aus. Die Schüttung, Ausräumung und Wiederauffüllung der unterschiedlichen Akkumulationsterrassen (STAHL 1930, RÜCKERT 1933) war dabei u. a. von den im Bereich der Fränkischen Alb tektonisch verursachten sedimentologischen Ereignissen im Gebiet des Urmains (TILLMANNS 1977) abhängig. Nach BRUNNACKER (1967), POLL (1974) und TILLMANNS (1977) erfolgten vier Ausräumungs- und Schüttungsphasen im Rezat-Rednitz-Talzug (vgl. Kap. 4.1.1).

Hervorzuheben wäre die deutliche Riß-eiszeitliche Akkumulation von Sandterrassen im Regnitz-Main-System. Mit der Schüttung dieser letztgenannten Oberterrasse erfolgte die Umkehr des Flußsystems nach Norden.

Diese glaziale Akkumulationsphase wurde anschließend von einer tiefgreifenden Erosionsphase mit einer Einschneidung bis maximal 40 m abgelöst. Im Anschluß daran fand eine mächtige Talverschüttung durch die Hauptterrasse des Würms statt (TILLMANNS 1977).

Im Bereich der genannten Gewässer des Bearbeitungsgebietes kann die Hauptterrasse als der für eine Bewirtschaftung wichtigste Träger von nutzbarem Grundwasser angenommen werden.

Die der Rednitz zugewandten Talsedimente stellen zum Teil den Vorfluter der Grundwasserstockwerke des ks-kbu und kbm-kbo dar. Dies läßt sich durch die entschieden besseren k-Werte des Quartärs gegenüber dem Keuper erklären (vgl. Kap. 3.6.1.2, Abb. 18, S.99).

4.1.3.1 Zur Hydrochemie

Das Pleistozän der genannten Gewässer beinhaltet ein sehr weiches Wasser. Dies kann durch die folgende Analyse belegt werden.

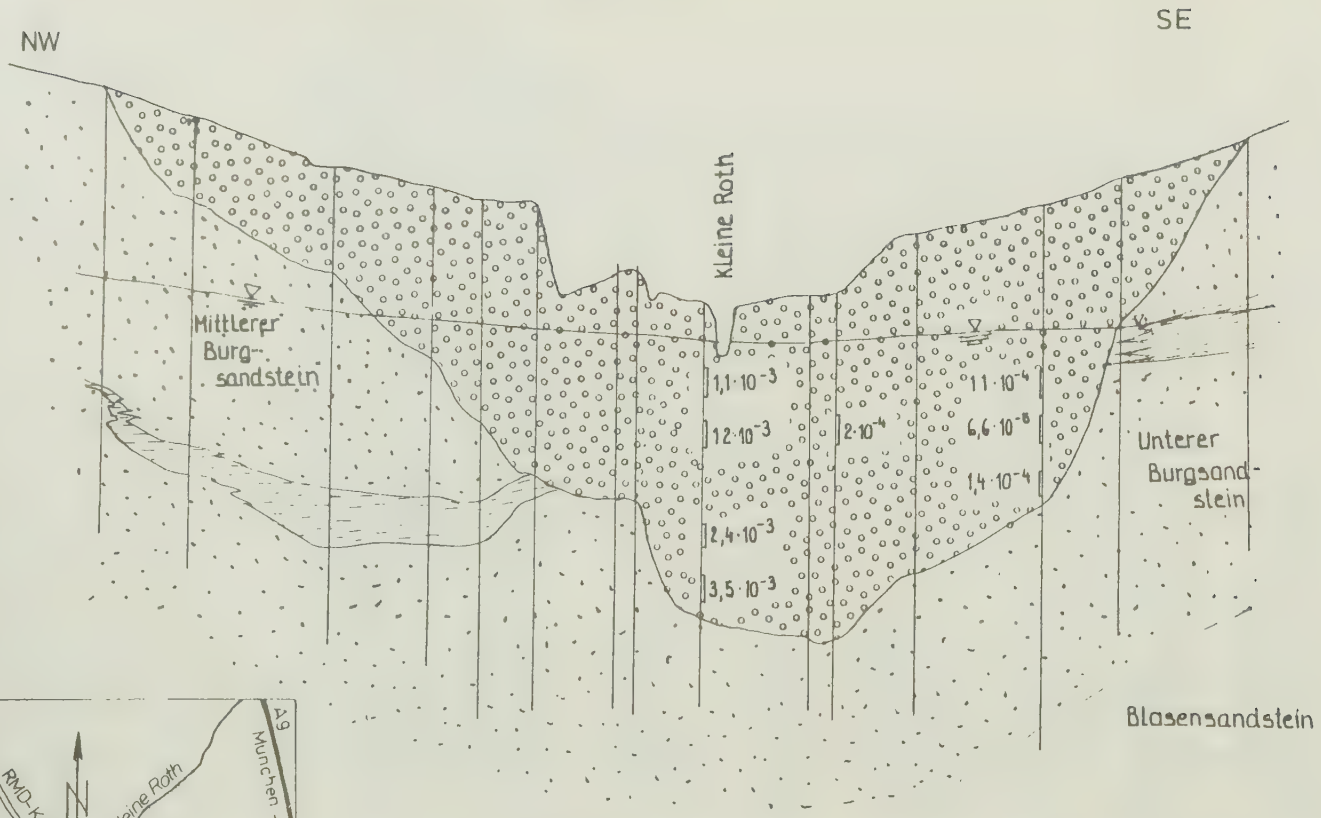
Tab. 23 Analyse der Grundwässer von der Rednitz zugewandten Talsedimenten

Analysennummer 0053, Hausbrunnen, Dürrenhembach

pH-Wert		5,1	SO_4	(mg/l)	21,8
Eh-Wert(mV)		+400	Cl^4	(mg/l)	9,0
Leitfähigkeit	(mS/m)	9,4	NO_3	(mg/l)	10
			NH_4	(mg/l)	n.b.
Ca	(mg/l)	9,8	PO_4	(mg/l)	0,35
Mg	(mg/l)	2,2	F	(mg/l)	0,1
Na	(mg/l)	0,9	SiO_2	(mg/l)	2,0
K	(mg/l)	2,7	Ges.-Härte	(^{o}d)	1,5
Fe	(mg/l)	0,05	Karb.Härte	(^{o}d)	0,5
Mn	(mg/l)	0,05			
HCO_3	(mg/l)	9,8	zug.CO_2	(mg/l)	0,0
			Sätt.Ind.		-4,9

Der Grundwasserchemismus ähnelt dem des Keupers sehr (vgl. Kap. 3.1.3.3, siehe auch W. MÜLLER 1970 , S.71). Dennoch möchte ich auf leicht mögliche lokale anthropogene Beeinträchtigungen hinweisen. In der Analysenserie "Autobahnquelle", Hebenbach sowie bei Analysen zur Prüfung auf Betonschädlichkeit entlang der BAB München - Nürnberg im Bereich des Gauchsbaches, der Kleinen Roth und zum Teil der Schwarzach (Mfr.) können spürbare Beeinträchtigungen des Grundwassers durch menschlich bedingte Beeinflussung nachgewiesen werden. Im Bereich des Finsterbaches und Hembaches hingegen sind Grundwässer von hoher Güte im gesamten Arbeitsgebiet zu erwarten.

Abb. 18: Profilschnitt kleine Roth



nach Unterlagen des Talsperrenneubauamtes Nürnberg

.1.3.2 Zur Frage der Durchlässigkeit

Aufgrund zum Teil sehr umfassender Baugrunduntersuchungen im Bereich der Kleinen Roth (Rothspeicher) sei ein für diese Bäche typischer Querschnitt abgebildet (vgl. Abb. 18, S. 99).

Während im Bereich der Hauptterrasse Sedimente mit sehr hohen k-Werten von $3 \cdot 10^{-3}$ m/s auftreten, sind die randlichen Sedimente der Oberterrasse nur mäßige bis schlechte Grundwasserleiter mit k-Werten von $1 \cdot 10^{-4}$ bis $1 \cdot 10^{-5}$ m/s. Eine ergiebige Grundwasserförderung kann somit nicht auf den gesamten Rinnenbereich ausgedehnt werden.

.2 Quartäre Flugsande

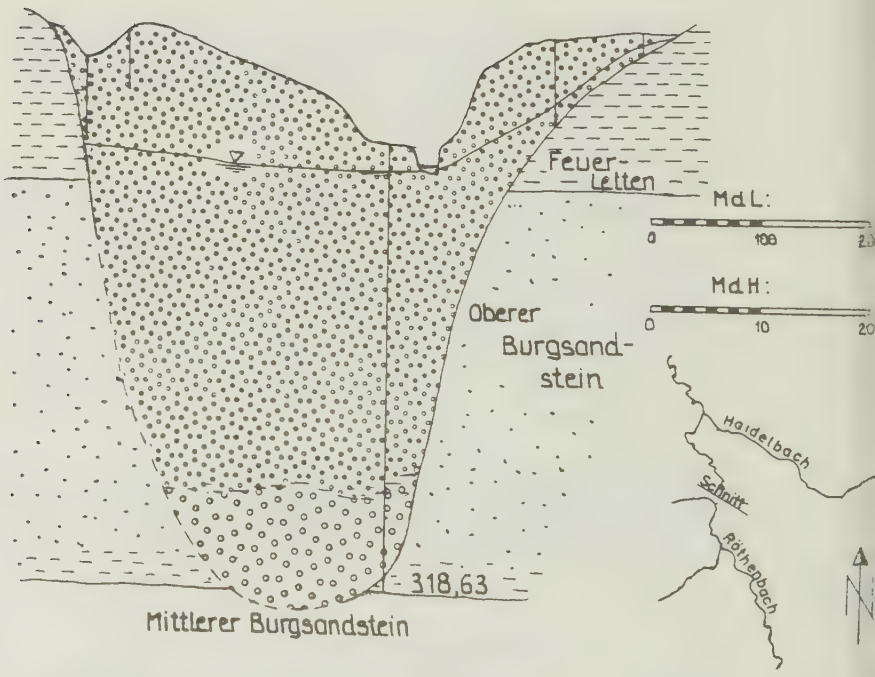
.2.1 Hydrogeologie der pleistozänen "Terrassensande" des Röthenbachs, des Haidelbachs und von Ursprung sowie der begrabenen Talrinne der vorderen Schwarzach (Mfr.) zwischen Schwarzenbruck und Gauchsbachmündung

.2.1.1 Vorkommen und Genese

Über dem Keuper- und Liassockel folgen im Einzugsgebiet der Pegnitz/Rednitz in weiten Bereichen der Gradabteilungsblätter Röthenbach und Feucht und mit Einschränkung des Blattes Allersberg mit scharfer Grenze die nichtbindigen pleistozänen "Terrassensande". Ihre Mächtigkeit ist infolge der Einlagerung in die Urtalrinnen wechselnd: Im Zentrum dieser Rinnen sind Sandmächtigkeiten mit über 50 m nachgewiesen; gegen die steilen Flanken nimmt die Mächtigkeit auf kurze Entfernung ab, um an den Keuper- und Lias-Höhenrücken völlig auszukeilen (Abb. 19).

URLICHS (1968) bezieht sich bei seiner Beschreibung zur Genese der "Terrassensande" hauptsächlich auf die Arbeiten von FICKENSCHER (1911, 1924), STAHL (1930) und RÜCKERT (1933) und stellt sie als Schwemmsande der Hauptterrasse des Würmglazials dar.

Abb. 19: Begrabene Talrinne des Röthenbaches



Gefälle des rezenten Röthenbaches 6,0 ‰
Gefälle des "Ur"- Röthenbaches 2,8 ‰

Die überlagernden Dünensande, die von den Schwemmsanden nur durch die morphologische Stellung abgetrennt werden können, werden in Anlehnung an BRUNNACKER (1955) in das Präboreal des ausgehenden Würmglazials gestellt.

POLL (1974) weist auf die Möglichkeit einer Untergliederung des Sandterrassenkomplexes hin.

SCHMIDT-KALER (1977) erwägt aufgrund von geringen Unterschieden der Sortierungswerte und der Kornsummenkurven der Flug- und "Terrassensande" einen Windtransport, wobei bei örtlichen fluviatilen Verfrachtungen gröbere Gerölle mit eingeschwemmt wurden.

Nach neuesten Untersuchungen von Herrn Prof.HABBE, Erlangen (frdl. mdl. Mitt.) erfolgte nach einer frühwürmeiszeitlichen starken Vertiefung und z.T. völliger Ausräumung schon bestehender Talformen eine hochwürmeiszeitliche äolisch-fluviatile Akkumulation der "Terrassensande" vornehmlich westlich des Albanstieges. HABBE unterscheidet dabei u. a. mit Hilfe von Kornverteilungshistogrammen vier Sedimentationsabschnitte:

- die äolische Ablagerung mächtiger Flugsande (ca. 60 - 70 % der Gesamtmächtigkeit), deren fluviatile Umlagerung infolge eines sehr kalten Klimas und des damit einhergehenden geringen Wasserdargebots nur lokalen Charakter aufweist,

- die Ablagerung von Flugsanden (ca. 30 % der Gesamtmächtigkeit) in einer niederschlagsfreien und wachstumsfreien Permafrostphase und

- die Aufschüttung von Dünen in zwei Phasen vornehmlich des Postwürms.

Im folgenden werden die "Terrassensande" infolgedessen unter dem Begriff "Flugsande" genannt.

Der äolische Transport der Sedimente erfolgte nahezu ausschließlich aus dem Westen (BERGER 1950). Die Flugsande sind insgesamt als Verwitterungsprodukte der Keupersandsteine aus dem Rednitz-Rezatgebiet anzusehen. Die größten derzeitigen Sandmächtigkeiten sind über dem Keuper (Feuerletten) nachgewiesen. Dies dürfte als ein zwingender Beweis für den äolischen Transport der Sande anzusehen sein.

Die eiszeitlich bedingten Ablagerungen blieben bis in die Gegenwart in den Tälern erhalten, in denen der unterirdische Abfluß einen großen Anteil am gesamten Abfluß aufweist. Dieser Umstand wird durch die zum Teil geringen Einzugsgebiete sowie durch Umlegungen des Gewässerverlaufs, wie dies am Beispiel der Schwarzach (Mfr.) nachgewiesen werden kann, zusätzlich begünstigt.

In diesem Zusammenhang sei auf den Verlauf einer bisher von RÜCKERT (1933, S. 51, 52) und wohl auch BIRZER (1936, S. 257) vermuteten, aber noch nicht nachgewiesenen begrabenen Rinne der Schwarzach (Mfr.) zwischen Gsteinach und Gauchsbachmündung aufmerksam gemacht, die in mäandrierender Form nördlich des derzeitigen Schwarzachverlaufs nachweisbar ist. Diese "Urrinne" ist dabei tiefer in den Keuper eingeschnitten als der derzeitige Gewässerverlauf und befindet sich im Schnitt 400 - 600 m nördlich des heutigen Flußbetts.

MÜLLER (1970, S. 15) weist ebenso auf eine nördlich der heutigen Schwarzach befindliche Rinne bei Schwand (westlich des Bearbeitungsgebietes) hin.

4.2.1.2 Zur Hydrochemie

Im wesentlichen wird durch diesen Grundwasserleiter ein weiches Wasser, das im Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht steht, gefördert. Charakteristisch ist der von Lokalität zu Lokalität unterschiedliche Grundwasserchemismus, wie aus folgender Tabelle ersichtlich ist:

Tab. 24 Chemismus von Grundwässern der Flugsande

Analysennummer	0064	0054	EWAG 1962
pH-Wert	7,42	5,9	6,28
Eh-Wert (mV)	+360	+265	n.b.
Ca (mg/l)	44	70,2	9
Mg (mg/l)	1	6,9	3
Na (mg/l)	2,7	100	n.b.
K (mg/l)	2,3	8,0	n.b.
Fe (mg/l)	0,05	0,05	0,60
Mn (mg/l)	0,05	0,15	0,05
HCO_3 (mg/l)	109	56,4	12
SO_4 (mg/l)	18,0	63,9	14,7
Cl (mg/l)	14,0	195	6,4
NO_3 (mg/l)	16,0	50	1
NH_4 (mg/l)	0,05	0,43	n.b.
PO_4 (mg/l)	0,20	0,14	Spuren
SiO_2 (mg/l)	6,0	3,0	20
F (mg/l)	0,1	0,1	n.b.
Ges.Härte °dH	6,4	11,2	2,5
Karb.Härte °dH	5,0	2,6	0,6
zug.CO_2 (mg/l)	1,47	0,6	-
Sätt.-Ind.	-0,81	-2,4	-

Analyse Nr. 0064 und EWAG 1962 sind charakteristisch für nicht bebaute Einzugsgebiete und weisen einen hydrochemisch einwandfreien Charakter des dortigen Grundwassers nach.

Deutlich zeigt sich hingegen in Analyse Nr. 0054 (Oberhembach) die Einflußnahme häuslicher Abwässer durch erhöhte Natrium-, Kalium-, Sulfat-, Chlorid-, Ammonium- und Nitrat-Gehalte. Ähnliche Grundwasserchemismen wurden im Bereich mehrerer Ortschaften (Oberhembach, Feucht, u.a.) angetroffen.

Insgesamt ist der Grundwasserchemismus der Flugsande ein empfindlicher Anzeiger im Hinblick auf Bebauung bzw. Bodennutzung.

2.1.3 Zur Grundwasserhydraulik

Zahlreiche Pumpversuche (siehe auch BIRZER & HILMER 1975) weisen die enorme Ergiebigkeit der Flugsande nach. Dies sei am folgenden Beispiel der Abb. 20 erläutert:

Aus dem Verlauf der Absenkkurve kann nach THIEM-DUPUIT der k-Wert ermittelt werden (vgl. Kap. 2.3). In der dargestellten Rinne der Vorderen Schwarzach (Mfr.), nördlich der Autobahnraststätte Feucht, lassen sich k-Werte von durchschnittlich $8{,}0 \cdot 10^{-4}$ m/s errechnen.

Aus der Kornsummenkurve (Auswertung nach BEYER in HERTH/ARNDTS, 1973) ergeben sich für die hangenden Mittelsande k-Werte von $6{,}5 \cdot 10^{-4}$ m/s und für die unterlagernden kiesigen Mittelsande $1{,}2 \cdot 10^{-3}$ m/s.

Ein weiterer Nachweis der großen Homogenität der quartären Sande lieferte GRIMM (1977) in Zusammenarbeit mit dem Autor an anderer Stelle:

Bei einer langjährig gemessenen Grundwasserneubildung von 110 l/s im Bereich eines durch Bohrungen hinlänglich genau bekannten Durchflußquerschnittes konnte mit Hilfe des Durchflußgesetzes nach DARCY

$$\frac{Q}{k} = F \cdot i$$

ein k-Wert von

$$k = \frac{0{,}110 \cdot \quad}{0{,}0235 \cdot 7920} \text{ (m/s)}$$

$$k = 5{,}9 \cdot 10^{-4} \text{ (m/s)}$$

bestimmt werden.

(Mittlere Grundwasserverhältnisse schematisiert)

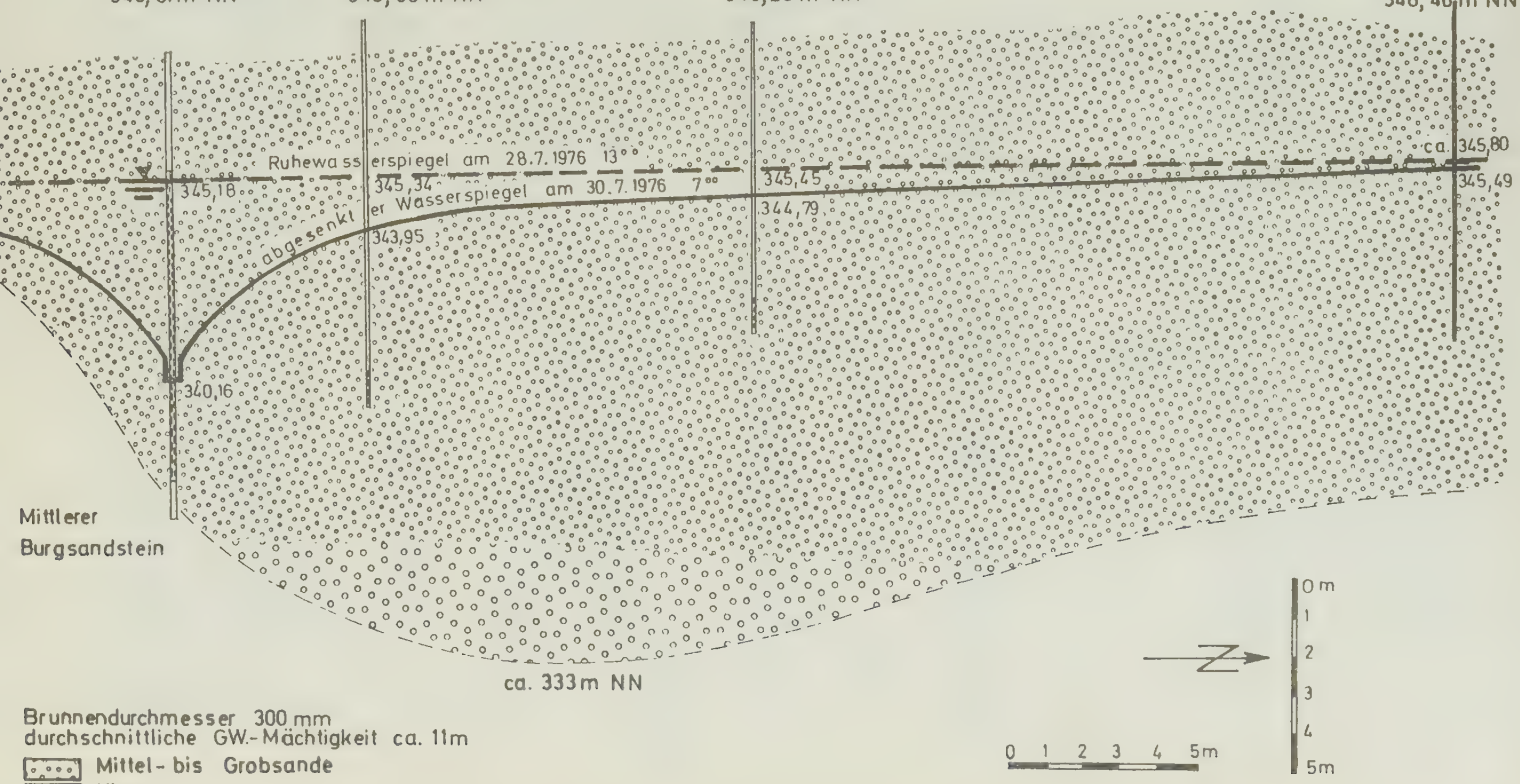
Brunnenleistung ca. 30 l/s

km 22.060 — Brunnen
Höhe des Meßrohres
349,81 m NN

km 22.065 — Pegel 1
Höhe des Pegelrohres
349,36 m NN

km 22.075 — Pegel 2
Höhe des Pegelrohres
349,25 m NN

km 22.093 — Pegel 3
Höhe des Pegelrohres
348,46 m NN

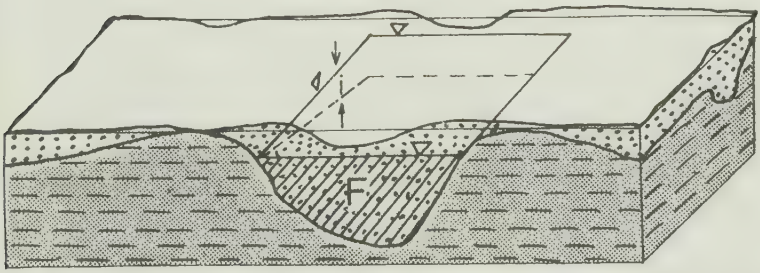


Brunnendurchmesser 300 mm
durchschnittliche GW.-Mächtigkeit ca. 11m

Mittel- bis Grobsande
Kiese

Abb. 21 :

Querschnitt einer begrabenen Talrinne (schematisch)



i Gefälle (2,35%)
F durchströmte Fläche (7900 m^2)

"Terrassensande"
Keuper, Lias

Mittels Pumpversuchen in dieser Rinne konnten nach THIEM-DUPUIT Werte von 6,0 • 10^{-4} m/s mit einem Schwankungsbereich von 4,2 - 7,9 • 10^{-4} m/s ermittelt werden.

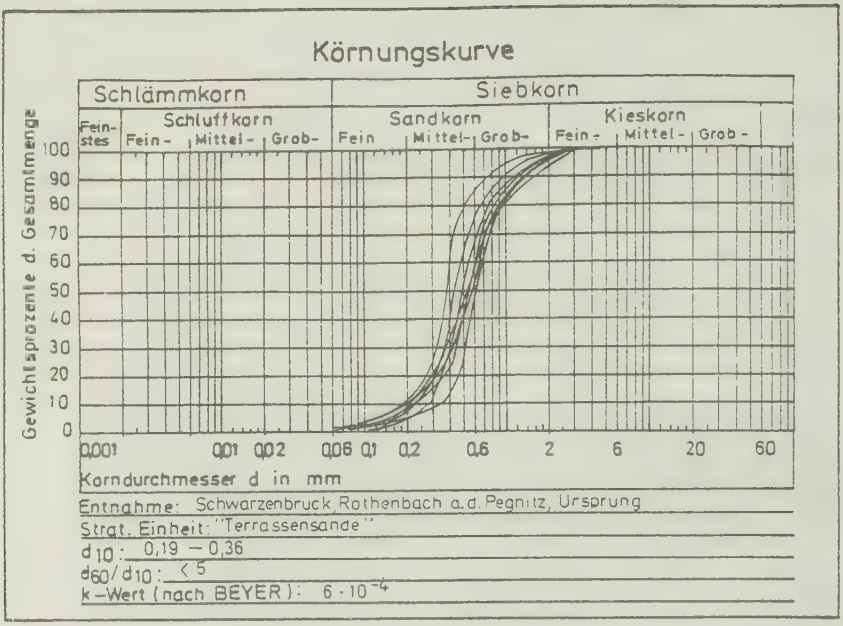
Die Auswertung der Körnungskurven von Sanden der betreffenden Rinne ergab k-Werte von durchschnittlich 6,0 •10^{-4} m/s. In eigenen Versuchen konnte mittels eines Wasserpermeameters

a) senkrecht zur Schichtung 4,6 - 6,5 • 10^{-4} m/s,

b) parallel zur Schichtung um 7,4 • 10^{-4} m/s

bestimmt werden.

Abb. 22:



Unter Zusammenfassung aller im Bearbeitungsgebiet verfügbaren Daten kann somit mit Durchlässigkeitsbeiwerten von $6{,}0 \cdot 10^{-4}$ m/s bei einer Standardabweichung von $1{,}8 \cdot 10^{-4}$ gerechnet werden.

Eine negative Ausnahme hiervon stellen lediglich die Sande des Langwassergrabens nördlich von Behringersdorf dar. Bedingt durch das große Einzugsgebiet und den geringen Abflußquerschnitt der Langwasserrinne dürfte es sich hierbei um fluviatil transportierte Schwemmsande handeln. Es sind in diesem Bereich k-Werte um $1 \cdot 10^{-4}$ m/s nachweisbar.

Neben den für eine Wasserentnahme günstigen Durchlässigkeitsbeiwerten und den z. T. hohen Grundwassermächtigkeiten stellen die Sande ein überragendes Grundwasserspeichergestein dar. Dies wurde bereits von der EWAG in den frühen 60er Jahren erkannt und durch ein umfassendes Bohrprogramm erkundet.

MAROTZ (1968) entwickelte theoretische Grundlagen für eine Wasserspeicherung im natürlichen Untergrund.

GRIMM (1977) diskutierte unter Mitarbeit durch den Autor in einem Berechnungsmodell die Möglichkeiten einer kurzfristigen und maximalen Nutzung eines natürlichen unterirdischen Wasserspeichers an einem Beispiel.

In enger Zusammenarbeit mit Herrn Prof. GRIMM wurden dabei im Rahmen dieser Dissertation die Labor-Kenndaten bestimmt.

4.2.1.4 Bestimmung des nutzbaren Hohlraumvolumens im Labor

Für eine unterirdische Wasserspeicherung ist die Kenntnis des nutzbaren Hohlraumvolumens von entscheidender Bedeutung. Zunächst wurde dessen Festlegung im Labor durchgeführt. Zur Methodik der Laborbestimmung vergleiche Kap. 2.3.3.3.

Durch mehrere Versuche ließen sich einheitliche Werte von n_{eff} um 12,4 Volumenprozent mit einer Schwankungsbreite von $\pm$ 1 % ermitteln.

Nach einer von MAROTZ (1968) aufgestellten empirischen Formel für Einkornmaterial (vgl. Kap. 2.3.3.3) läßt sich für die pleistozänen Sande ein nutzbarer Porenanteil von 13 Volumenprozent errechnen.

4.2.1.5 Bestimmung des nutzbaren Hohlraumvolumens durch Auswertung von Pumpversuchen

4.2.1.5.1 Volumetrische Berechnung

Geht man von der Überlegung aus, daß durch einen genügend bekannten Querschnitt eine bekannte konstante Grundwassermenge strömt, so läßt sich aus rein volumetrischen Überlegungen das nutzbare Hohlraumvolumen ableiten.

Entnimmt man diesem Querschnitt eine konstante Grundwassermenge Q_1, die identisch ist mit der zuströmenden Menge Q_o, so stellt sich ein stationärer Absenkzustand ein. Wird die konstante Menge von Q_1 spürbar durch eine zusätzliche Entnahme von Q_2 erhöht, ergibt sich ein sich rasch ausbreitender instationärer Absenkvorgang in Form eines Absenktrichters, dessen neu entstehendes Absenkvolumen V_1 dabei in Abhängigkeit zur Entnahmemenge von Q_2 steht. Aus der Beziehung

$$n_{eff} = \frac{Q_{2(t)} \cdot t}{V_{1(t)}}$$

kann somit das durch den Pumpversuch entwässerte Hohlraumvolumen in Abhängigkeit zur Zeit ermittelt werden.

Die Auswertung eines derartigen Pumpversuches, bei dem das Volumen des Absenktrichters aufgrund von umfangreichen und regelmäßigen Pegelmessungen zu beliebigen Zeitpunkten durch graphisch-rechnerische Integration ermittelt werden konnte, ergab im Schnitt ein entwässertes Hohlraumvolumen von 17,4 % bei Standardabweichungen von 3,3 %.

4.2.1.5.2 Berechnung des nutzbaren Hohlraumvolumens aus der THEIS-JACOB'schen Beziehung

Ein auf rein hydraulischen Überlegungen beruhendes Verfahren nach THEIS-JACOB zur Berechnung des instationären Vorganges der raum-zeitlichen Absenkung wurde bereits in mehreren Lehrbüchern (z.B. BENTZ/MARTINI 1969, HERTH/ARNDTS 1973 und RICHTER/LILLICH 1975) und Veröffentlichungen, z.B. WIEDERHOLD (1961), LOHR (1967) und LÜHR & ZIPFEL (1975) beschrieben.

Im folgenden sei ergänzend zum Kapitel 2.3 kurz auf die methodisch bedingte Problemstellung eingegangen.

Durch die THIEM-DUPUIT'sche Gleichung wird der räumliche Absenkvorgang durch Beschreibung der Absenkkurve bei stationären Bedingungen bestimmt. Die Form der Absenkkurve ist dabei in erster Linie von dem Durchlässigkeitsbeiwert k abhängig. Der Betrag der im Raum stattfindenden Absenkung ist neben der eben beschriebenen Bedingung eine Funktion der Zeit, der Geschwindigkeit des Absenkvorganges und des entwässerbaren Hohlraumvolumens. Aus dieser Kenntnis heraus entwickelten THEIS (1935) und JACOB (1940) auf der Grundlage des analogen Vorganges der Wärmeausbreitung die Gleichung der raumzeitlichen Absenkung (vgl. Kap. 2.3).

Da die Errechnung nach THEIS-JACOB einen homogenen und isotropen Absenktrichter voraussetzt, wird eine großräumliche Berechnung häufig von Randbedingungen begleitet.

Die Ermittlung des nutzbaren Porenraumes durch Auswertung eines Pumpversuches in einer der oben beschriebenen quartären Rinnen ist bei niedrigen Entnahmeraten infolge der Ausbildung von homogenen Absenktrichtern möglich. Erst mit zunehmender Grundwasserförderung treten inhomogene Absenktrichter infolge der Rinnenstruktur auf.

Im folgenden sei das Beispiel einer Berechnung wiedergegeben:

Beispiel einer Berechnung des nutzbaren Porenraumes aus der Auswertung eines Pumpversuches (nach Unterlagen der EWAG):

k-Wert = $6 \cdot 10^{-4}$ m/s

Pegelabstand x = 25 m

Grundwasserförderung 0,0092 m^3/s

Grundwassermächtigkeit H = 10,41 m

Grundwasserabsenkung im Pegel 0,52 m

Pumpversuchdauer t = $3,46 \cdot 10^5$ s

Der Ausdruck $u = \frac{x^2 \cdot n_{eff}}{2,25 \cdot T \cdot t}$ (vgl. Methodik Kap. 2.3.3.3)

ergibt bei Einsetzen obiger Werte 0,01. Somit läßt sich nach Einfügen der genannten Variablen die nutzbare Porosität n_{eff} errechnen:

Ergebnis: n_{eff} = 10,3 Vol%.

Tab. 25 Zusammenstellung der Ergebnisse zur Ermittlung des nutzbaren Porenraumes der pleistozänen "Terrassensande"

Labor:	n_{eff} (Vol%)	Standardabweichung
gravitative Entwässerung:	12,3	1,6
Entwässerung bei ca. $2,5 \cdot 10^{-2}$ bar	12,5	1,5
Berechnung nach MAROTZ (1968)	13,0	
Auswertung vom Pumpversuchen:		
Volumetrische Berechnung:	17,4	3,3
Raumzeitliche Berechnung nach THEIS-JACOB:	10,8	1,5
Durchschnitt aller Ergebnisse:	13,2	2,5

4.2.1.6 Berechnung der einem Speicher entnehmbaren Grundwassermengen in Abhängigkeit von Raum und Zeit

In Verbindung mit der oben erläuterten raumzeitlichen Berechnungsmethode lassen sich die einem Speicher entnehmbaren Grundwassermengen mit Hilfe der FORCHHEIMER'schen Mehrbrunnenformel zur Erfassung der einer projektierten Anlage zuströmenden Grundwassermengen errechnen (vgl. Kap. Methodik, Pkt. 2.3.3.4, GRIMM 1977).

Mit Hilfe der raum-zeitlichen Berechnung nach THEIS-JACOB kann der Momentanzustand des jeweiligen instationären Absenkgeschehens bestimmt werden.

Da mit beiden Berechnungsmethoden die schon oben beschriebenen Randbedingungen nicht erfaßt werden können, empfiehlt es sich, die Ergebnisse durch volumetrische Berechnung der konstruktiv ermittelten Absenkbereiche zu überprüfen.

GRIMM (1977) konnte unter Mitarbeit des Autors nachweisen, daß bei einer Grundwasserabsenkung auf die halbe Ausgangs-Grundwassermächtigkeit einer quartären, mit Flugsanden verfüllten Rinne die rechnerisch und konstruktiv ermittelten Ergebnisse näherungsweise miteinander übereinstimmen.

In diesem Zusammenhang sei auf mathematische Verfahren aufmerksam gemacht (LÜHR & ZIPFEL 1975), mit deren Hilfe im Gegensatz zur obigen überschlägigen Berechnungsweise die genannten Randbedingungen durch Einsatz von finiten Differenzenverfahren gefaßt werden können. Durch derartige Grundwassermodellberechnungen können beliebige instationäre Absenkvorgänge simuliert werden.

4.2.1.7 Derzeitige ungenutzte Grundwasserspeicher im Bereich der "Flugsande"

1. Röthenbach

Durchströmte Fläche:	$1{,}1 \cdot 10^4$ m^2
Durchströmte Rinnenlänge:	ca. 10.000 m
derzeitiger unterirdischer Abfluß:	ca. 0,06 m^3/s
Nutzbarer Porenraum:	ca. 13 %
Gesamtvorräte:	ca. $1{,}4 \cdot 10^7$ m^3
Nachteil:	Bei Grundwasserentnahme ist mit einem äquivalenten Rückgang der Bachschüttung zu rechnen.

Grundwassergefährdung:	der gesamte Bereich wird von Autobahnen in unmittelbarer Umgebung gefährdet; derzeit noch Vorfluter der Kläranlage Röthenbach bei Altdorf und des Ortes Ungelstetten.

2. Ludergraben

Durchströmte Fläche	ca. 18.000 - 3.600 m^2
Durchströmte Rinnenlänge:	ca. 1.500 - 2.000 m
Derzeitiger unterirdischer Abfluß:	ca. 0,012 m^3/s
Gesamtvorräte:	ca. 3,5 - 9,4 $\cdot 10^5$ m^3
Grundwasserbelastung:	Siedlungen Netzstall, Birnthon

3. Langwassergraben nördl. Behringersdorf

Durchströmte Fläche:	ca. 5,8 $\cdot 10^3$ m^2
Durchströmte Rinnenlänge:	1,3 $\cdot 10^3$ m
Derzeitiger unterirdischer Abfluß:	ca. 0,03 m^3/s
Grundwasserreserven:	ca. 9,1 $\cdot 10^5$ m^3
Nachteil:	geringe Grundwasserergiebigkeit, Nachbarschaft zur Autobahn und Oberflächensee

4. Begrabene Schwarzachtalrinne zwischen Gauchsbachmündung und Ochenbruck

Durchströmte Fläche:	ca. 3.000 m^2
Durchströmte Rinnenlänge:	ca. 3.600 m
Unterirdischer Abfluß:	nicht bestimmbar
Grundwasserreserven:	ca. 1,5 $\cdot 10^6$ m^3
Grundwassergefährdung:	Autobahnanschlußstelle Feucht; intensiver Sandabbau mit Freilegung der Grundwasseroberfläche; nicht genehmigte Schutt- und Faulschlammablagerungen

5. Begrabene Talrinne Mühlbach - Rolandgraben

Hierüber liegen mir keinerlei Unterlagen vor; grob überschlägig werden Grundwasservorräte von 1 $\cdot 10^5$ m^3 angenommen.

Zusammenfassung

Es kann mit insgesamt derzeit nicht genutzten Grundwasserspeichervorräten im Bereich der "Flugsande" von $1{,}7 \cdot 10^7$ m³ gerechnet werden. Da die begrabenen Talrinnen z. T. den Vorfluter der Grundwasserstockwerke des Oberen, Mittleren und des Unteren Burgsandsteins darstellen, dürfte mit einer erheblichen Grundwasserneubildung aus dem Keuper zu rechnen sein. Die mit "Flugsanden" verfüllten Rinnen eignen sich hervorragend zur Deckung kurzzeitiger Spitzenbelastungen der Wasserwirtschaft.

5. Grundwasserstockwerke

Das Bearbeitungsgebiet ist durch einen komplizierten Grundwasserstockwerksbau gekennzeichnet. Bedingt durch wechselnd aushaltende Lettenhorizonte an der Basis der im wesentlichen in sandiger Fazies ausgebildeten Schichten des Mittleren Keupers sind mehrere voneinander unabhängige Druckwasserspiegel feststellbar:

- das Grundwasserstockwerk des Benker Sandsteins und im Sinne von MÜLLER (1970) der Sandsteine im Liegenden der Estherienschichten;
- das zusammengefaßte Grundwasserstockwerk des Schilfsandsteins, der Lehrbergschichten, des Blasensandsteins i.w.S. und des Unteren Burgsandsteins (ks - kbu
- das Grundwasserstockwerk des Mittleren Burgsandsteins das mit dem zum Teil hangenden Grundwasserstockwerk des Oberen Burgsandsteins und dem Grundwasserspiegel der quartären Bedeckung näherungsweise zusammengefaßt wird.

Ferner bilden die Schichten des Oberen Keupers und des Juras jeweils voneinander unabhängige hangende Grundwasserstockwerke aus.

5.1 Grundwasserstockwerk des Benker Sandsteins (kbe)

Das tiefste im Bearbeitungsgebiet durch Bohrungen erschlossene Grundwasserstockwerk ist das des Benker Sandsteins. Es ist im Bearbeitungsgebiet durch die aushaltend tonige Ausbildung der Estherienschichten

vom Grundwasserstockwerk des ks-kbu getrennt; nach MÜLLER (1970) und POLL (1978) sind die im Liegenden der Estherienschichten auftretenden Estheriensandsteine im Raum Roth/Schwabach dem Grundwasserstockwerk des kbe zuzuordnen.

Insgesamt kann ein geringfügiges Nordeinfallen des gespannten Wasserspiegels in Richtung Nürnberg festgestellt werden (ANDRES in BERGER 1967; MÜLLER 1970). Der Druckwasserspiegel des Benker Sandsteins liegt nach Auswertung der beiden Pegel bei Brunn SE von Nürnberg (Abb. 24, S. 120) bis zu 14 m unter dem des Grundwasserstockwerkes des ks bis kbu, was in guter Übereinstimmung mit den Feststellungen vom MÜLLER (1970) steht. Die Ganglinien sind dabei unabhängig voneinander.

Da keine Bohrung im Bearbeitungsgebiet den Benker Sandstein durchteuft, wird die Mächtigkeit dieses Grundwasserleiters auf ca. 90 m geschätzt (EMMERT 1964, S. 97).

.2 Grundwasserstockwerk des Schilfsandsteins - Unterer Burgsandstein (ks - kbu)

Das zusammengefaßte Grundwasserstockwerk der durch Bohrungen erschlossenen Schichten des Schilfsandsteins, der Lehrbergschichten, des Blasensandsteins und des Unteren Burgsandsteins ist den Anlagen 1, 2 a zu entnehmen. Die durchschnittliche Mächtigkeit der dieses Stockwerk ausbildenden Sandsteine beträgt ca. 90 - 95 m.

Ebenso wie in den oberen Abteilungen ist ein entgegen dem Einfallen der geologischen Formation nach Westen und Nordwesten gerichtetes generelles Grundwasserspiegelgefälle feststellbar (ANDRES in BERGER 1967, 1978, MÜLLER 1970). Hauptvorfluter sind dabei die Pegnitz und Rednitz. Dieses Grundwassereinfallen wird mehr oder weniger vom Röthenbach (ab der Haidelbachmündung), der Schwarzach (Mfr.), vom Gauchsbach (ab Feucht) und der Kleinen Roth lokal beeinflußt. Diese Gewässer sind somit ebenso Vorfluter dieses Hauptgrundwasserstockwerks (vgl. hierzu Anlage 2a). Die Ursache dieser Vorflutverhältnisse sind die im Untergrund der Gewässer tief eingeschnittenen und jetzt mit gut durchlässigen Sanden und Kiesen verfüllten Urtalrinnen.

Auffallend ist, daß sich der Scheitelpunkt der unterirdischen Hauptwasserscheide unterhalb der Feuerlettenbedeckung befindet. Hierzu bedarf es einer kurzen Erläuterung:

Wie erstmals von ANDRES (in BERGER 1967) dargelegt, ist das Grundwasserspiegelgefälle nicht abhängig von der tektonisch bedingten Lagerung der stratigraphischen Einheiten, sondern von der jeweiligen Vorflut. Konsequenz dieser nachgewiesenen Diskordanz von Grundwasseroberfläche zu Schichtfläche ist, daß die einzelnen Grundwasserleiter mit mehr oder minder wirksamen hydraulischen Fenstern ausgestattet sein müssen.

Vergleicht man den Grundwasserspiegel des kbo und kbm mit dem des ks - kbu (Abb. 26, Anlage 2a, b), so kann vermutet werden, daß eine Einspeisung des oberen Grundwasserstockwerkes in das untere unterhalb des Feuerlettens stattfindet und somit der Scheitelpunkt des Grundwasserstockwerkes ks - kbu nach E zu unter die Feuerlettenbegrenzung verschoben wird.

Insgesamt kann festgestellt werden, daß der Verlauf der oberirdischen und der unterirdischen Wasserscheiden einander ähneln.

5.3 Grundwasserstockwerk des Mittleren und Oberen Burgsandsteins und Quartärs

In der vorliegenden Karte der Grundwasserhöhengleichen (Anlage 2b) ist der zum Teil freie Grundwasserspiegel des obersten Grundwasser-führenden Schichtgliedes, das nicht vom Feuerletten bedeckt ist, dargestellt. Sie erfaßt sowohl den Wasserspiegel des Quartärs wie auch den der Sandsteine des Mittleren Keupers (Mittlerer und Oberer Burgsandstein, im nordwestlichen Bereich auch Unterer Burgsandstein). Die maximalen Grundwassermächtigkeiten betragen 60 m.

Der dargestellte Grundwasserspiegel des oberen Stockwerk (Anlage 2b) überlagert meist den Wasserspiegel des unteren Aquifers. Ausnahme stellt der Grundwasserspiegel im Bereich der Pegnitz dar, in dem sich der Druckwasserspiegel des überlagerten Keupers auf höherem Niveau als der Druckwasserspiegel des Pegnitzquartärs befindet.

Der Obere und Mittlere Burgsandstein - als hangende Schichtglieder des Grundwasser-führenden Sandsteinkeupers - sind größtenteils in einzelne diskrete Grundwasserstockwerke aufgegliedert. Diese unterscheiden sich meist vom Grundwasserspiegel des Unteren Burgsandsteins. Während nördlich von Feucht und südlich von Pyrbaum deutliche Unterschiede von knapp 20 m Höhe zwischen den jeweiligen Grundwasserhöhen des Oberen und Mittleren Burgsandsteins festgestellt werden können, differieren die Grundwasserspiegel beider Grundwasserleiter im Südwesten des Bearbeitungsgebietes nur geringfügig um Beträge von maximal 5 m.

Wie in der Anlage 2b bereits hingewiesen, ist die Darstellung des obersten Grundwasserstockwerkes keine Grundlage für lokale Baugrundsondierungen. In diesem Zusammenhang sei darauf aufmerksam gemacht, daß dieses Grundwasserstockwerk zum Teil um bis zu 6 m gespannt ist (z. B. Autobahnanschlußstelle Fischbach, Allersberg).

Die häufig tief eingeschnittenen Urtalrinnen ergeben - aufgrund des konträren hydraulischen Verhaltens des Quartärs und des Keupers - ein unterschiedliches Grundwassergefälle in den genannten Grundwasserleitern.

Der Darstellung der Grundwasserhöhengleichen (Anlage 2b) ist ferner entnehmbar, daß die jeweiligen Gewässer ohne Ausnahme den Vorfluter des Mittleren und Oberen Burgsandsteins sowie des Quartärs darstellen.

In Anlehnung an das Grundwasserspiegelgefälle im Grundwasserstockwerk des ks - kbu wird angenommen, daß die oberirdischen und unterirdischen Wasserscheiden einander ähneln.

.4 Hangende Grundwasserstockwerke

.4.1 Feuerlettensandsteine

Häufig anzutreffende Sandsteinhorizonte im Feuerletten bilden eigene, jedoch nicht aushaltende Grundwasserstockwerke aus. Daher wurden diese nicht mit in die Darstellung der Grundwasserhöhengleichen in Anlage 2b übernommen.

5.4.2 Rät-Lias-Übergangsschichten und Lias α_3 - γ

Aufgrund des zum Teil geringmächtigen Vorkommens dieser Schichtglieder wurde ein gemeinsamer Grundwasserspiegel in der Anlage 2b konstruiert. Es zeigt sich, daß der Grundwasserspiegel sowohl vom Schichteinfallen nach Osten wie auch von morphologischen Gegebenheiten geprägt ist.

Störungen mit Sprunghöhen bis zu 15 m bilden für diesen Grundwasserleiter infolge seiner geringen Mächtigkeit wirksame hydraulische Begrenzungen im Südostteil des Blattes Allersberg.

Während der Grundwasserspiegel im Bereich des Bearbeitungsgebietes größtenteils frei ausgebildet ist, baut sich nach Osten und Südosten (mit Untertauchen unter den Amaltheenton) rasch ein Druckwasserspiegel auf.

5.4.3 Dogger, Malm

Die hangenden Grundwasserstockwerke im Bereich des Eisensandsteins am Moritzberg und Möninger Berg und der Karstwasserspiegel des Malm am Moritzberg haben nur lokale Bedeutung; auf eine Darstellung wurde deshalb verzichtet.

5.4.4. Quartär der Hinteren Schwarzach (Opf.)

Die Sedimente der Schwarzach (Opf.) sind im Bearbeitungsgebiet nahezu ausnahmslos in den Feuerletten eingeschnitten und bilden dementsprechend ein eigenes Grundwasserstockwerk aus (vgl. Anlagen 1, 2b).

6. Grundwasserspiegelschwankungen

Die Grundwasserspiegelschwankungen der oberen Grundwasserstockwerke können jeweils im wesentlichen als eine Funktion des Flurabstandes, der Gesteinsausbildung und der Niederschlagsmengen erkannt werden. Weiterhin sind Schwankungen des Grundwasserspiegels abhängig vom Abstand eines Vorfluters sowie von

eventuellen Quellaustritten. Die Wirksamkeit der genannten Faktoren spiegelt sich in zeitlichen Verzögerungen bis über einem halben Jahr zwischen Niederschlagsereignis und Reaktion des Pegels wider. Die Grundwasser-Ganglinie stellt insgesamt eine Regressionskurve des jeweiligen Grundwasserspeichergeschehens dar. Dennoch führen Rückschlüsse auf die Grundwasserneubildung aus dem Verlauf der Grundwasser- und Niederschlags-Ganglinien nach BURRE (1960) nur zu unbefriedigenden Ergebnissen. Im folgenden ist die Grundwasser-Ganglinie eines Doppelpegels dargestellt, der sowohl den gespannten Grundwasserleiter des klüftig-porösen Oberen Burgsandsteins wie auch den freien Wasserspiegel von quartären Flugsanden erfaßt. Während der Verlauf der Schwankungen der Grundwasserspiegel beider Grundwasserleiter nahezu gleich ist, weisen die Einzelamplituden erhebliche Unterschiede auf (Abb. 23).

Die für die Grundwasserneubildung entscheidenden Niederschläge im Winterhalbjahr (verminderte Verdunstungsrate und damit erhöhte Versickerung) führten aufgrund des geringen Dargebots in den Jahren 1971 - 1973 zu einem Rückgang der Grundwasserhöhen. Insgesamt ist eine ca. 3 - 4monatige Verzögerung der Grundwasserganglinie zur Niederschlagsganglinie ersichtlich.

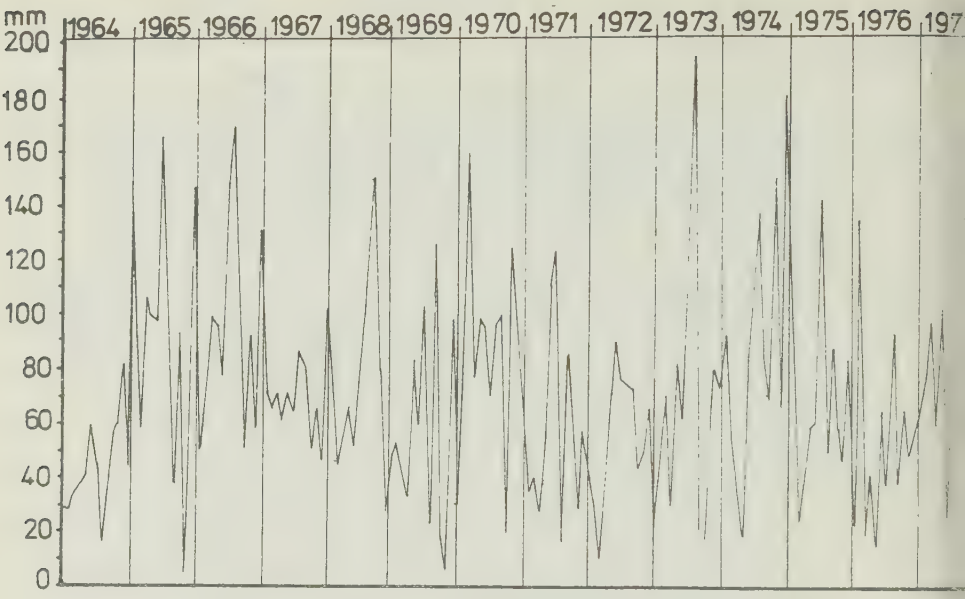
Die Auswertung von bis zu 12jährigen Beobachtungen an insgesamt 50 Meßpegeln (Autobahnamt, EWAG, Landesamt für Gewässerkunde, RMD, Stadtw. Fürth) ergab folgende Schwankungen der jeweiligen Grundwasserhöhen:

Tab. 27 Grundwasserspiegelschwankungen

Pegnitz-Quartär	- 1,5 m
Flug- und Schwemmsande des Pleistozäns	1,0 - 5,99 m
Rätsandstein	2,0 - 3,5 m
Feuerlettensandstein	1,5 - 4,8 m
Oberer Burgsandstein	0,8 - 2,5 m
Mittlerer Burgsandstein	1,5 - 3,0 m
Unterer Burgsandstein bis Schilfsandstein u. Estherienschichten	0,5 - 4,17 m
Benker Sandstein+	- 1,0 m

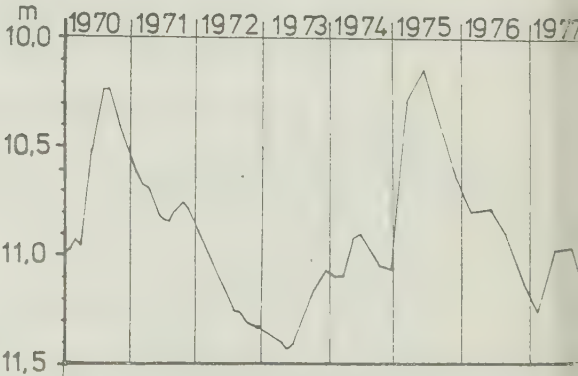
+Messungen von Mai 1976 - Oktober 1978

Abb. 23: Niederschlags- und Pegelganglinien bei Krämersweiher

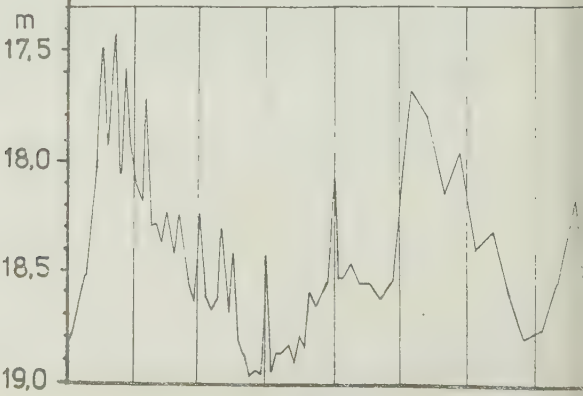


Doppelpegel:

Porengrundwasserleiter
Quartäre Terrassensande
(fr. Grundwasserspiegel)



klüftig-poröser
Oberer Burgsandstein
(gesp. Grundwasserspiegel)

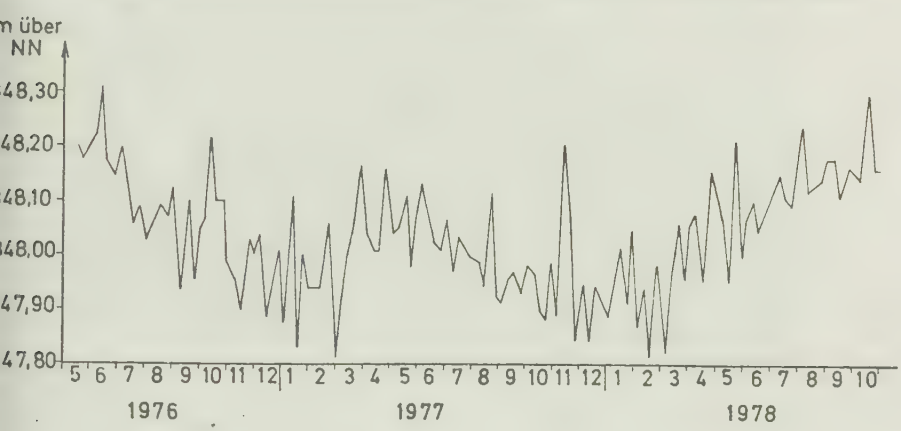


Messungen der Wasserstände
1970 – 1973 monatlich
1974 zweimonatlich
1975 – 1977 vierteljährlich

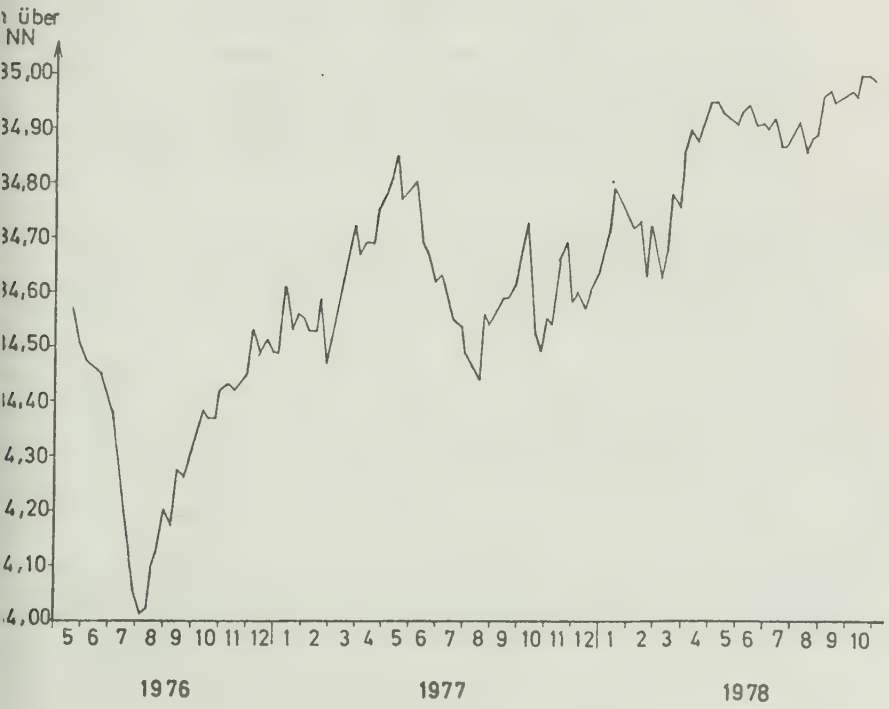
Abb. 24:

Pegelganglinien der Pegel 7.04 , VB1 und VB2 bei Brunn, östlich von Nürnberg

Ganglinie des Grundwasserstockwerkes "Schilfsandstein bis Unterer Burgsandstein"



anglinie des Grundwasserstockwerkes "Benkersandstein"



Die Schwankungen der Grundwasserspiegel sind somit z.T. erheblich höher, als von KRAUSPE (1970) mit maximal 2,5 m weiter westlich im Gebiet um Ansbach angegeben.

Der als Pegel ausgebaute Versuchsbrunnen des Bayer. Landesamtes für Wasserwirtschaft, München, bei Brunn, ca. 10 km südöstlich von Nürnberg, Plannummer 7.04, VB 2 zeigt vom Meßbeginn im Mai 1976 bis zum 9. August 1976 ein Absinken des Grundwasserspiegels des Benker Sandsteins um 0,56 m an. Ab diesem Zeitpunkt stieg das Grundwasser um einen ähnlichen Betrag wieder kontinuierlich an (vgl. Abb. 24). Da sich bei einem Druckwasserspiegel erhöhte Grundwasserentnahmen über größere Entfernungen durch einen raschen Druckabfall mitteilen, kann das geringfügige Absinken des Grundwasserspiegels auf erhöhte Entnahmemenge in den regenarmen Monaten Juni bis August 1976 in Nürnberg zurückgeführt werden.

7. Grundwasserhaushalt

Der natürliche Kreislauf atmosphärischen Wassers läßt sich bekanntlich durch die Gleichung

$$\text{Niederschlag } N = \text{Verdunstung } V + \text{oberirdischer Abfluß } A_o + \text{unterirdischer Abfluß } A_u$$

darstellen. Da sich von diesen vier Parametern nur zwei, nämlich der Niederschlag und der oberirdische Abfluß, einigermaßen genau bestimmen lassen, wurden verschiedene Verfahren entwickelt, um durch Bestimmung einer der beiden anderen Komponenten die vierte Unbekannte zu ermitteln.

7.1 Oberirdischer Abfluß

Das Bearbeitungsgebiet wird von folgenden Bächen durchströmt bzw. entwässert:

Tab. 27 Abflußdaten von Gewässern des Bearbeitungsgebietes

Gewässer	Meßstelle	Niederschlagsgebiet km^2	Zeitraum	MQ m^3/s	MHQ m^3/s	HQ m^3/s	MNQ m^3/s
Pegnitz	Nürnberg Lederersteg	1192	1921-73	10,2	49	178	6,87
Röthenbach	Röthenbach	78,6	1969-76	0,46	7,58	23,3	0,165
Schwarzach Mfr.++	Gebiet zwischen Ra-sch u.Wendelstein	112,5	1951-70	0,72	18,2	61,2	0,42
Hembach	Oberfichtenmühle	54,5	1969-76	0,19	1,69	4,31	0,067
Finsterbach	Meckenlohe	33,3	1969-76	0,11	0,86	1,97	0,032
Kleine Roth	Haimpfarrich	35,5	1969-76	0,21	3,64	9,82	0,088
Schwarzach Opf.+	Freystadt	78	1977-78	0,37			
Espangraben+	Altenhofen	11	1977-78	0,02			
Brunnbach+	Brunnau		1977-78	0,02			
Hutgraben+	Nürnberg, Brücke Zerzabelshof		1977-78	0,03			
Fischbach+	Nürnberg, 400m nördl.Zabo		1977-78	0,02			

+ Die Abflüsse wurden sporadisch im Sommer1977 und Frühjahr 1978 bei kurzzeitigen Trockenperioden gemessen; die Angaben stellen Mittelwerte dieser Messungen dar.

++ MHQ und HQ sind auf die Station Wendelstein bezogen.

Verdunstung

Die Verdunstung V ist die am schwierigsten zu bestimmende Größe der Wasserhaushaltsgleichung, da sie je nach Flurabstand, hydraulischen Eigenschaften des Grundwasserleiters, Morphologie, Bewuchs und freien Wasserflächen äußerst unterschiedliche Beträge in engem Raum vorweisen kann.

Lediglich im Einzugsgebiet des Röthenbachs, in dem durch großflächige Belegung von "Terrassensanden" relativ homogene Untergrundverhältnisse und morphologische Gegebenheiten vorliegen, sei eine Berechnung nach obengenannter Wasserhaushaltsgleichung durchgeführt:

Niederschlag	1971 - 1976	782 mm (Ø)	
Grundwasser-entnahme	" - "	80 mm (Ø)	
oberirdischer Abfluß	" - "	186 mm (Ø)	
unterirdischer Abfluß	" - "	24 mm (Ø)	(vgl.Kap.4.2.
Verdunstung =		492 mm (Ø)	

Nimmt man die Karte von KERN (1954) zum Vergleich, so ergibt sich:

Niederschlag	790 mm (Ø)
Abflußhöhe	300 mm (Ø)

Die daraus resultierende Verdunstung von 490 mm stimmt mit dem oben ermittelten Ergebnis gut überein.

Weitere Methoden zur Bestimmung der Verdunstung sind empirische Näherungen: Die von HAUDE (1955) angegebene Formel erfordert die Ermittlung der relativen Luftfeuchtigkeit F_{14} sowie der Temperatur t_{14} um 14^{oo} Uhr im Monatsmittel:

$$ET_{pot} = x \cdot 337 \cdot \frac{t}{234{,}67 + t} \cdot (1 - 0{,}01 \; F_{14})$$

x ist dabei ein Monatskoeffizient, der bei verschiedenen Monaten unterschiedliche Werte aufweist und Tabellen, z. B. RICHTER & LILLICH (1975, S. 116), entnommen werden kann. Da für diese, die Verdunstung wohl sehr genau bestimmende Methode, jedoch nur wenig Datenmaterial zur Verfügung stand, sei auf eine weitere empirische Berechnung eingegangen.

Die Verdunstungsformel nach TURC

$$V = \frac{1{,}054 \cdot N}{1 + \left(\frac{1{,}054 \cdot N}{300 + 25 \cdot t + 0{,}05 \cdot t^3}\right)^2} \quad (mm)$$

kann nach KRAUSPE 1970 für den Keuper Mittelfrankens gut angewendet werden. Es läßt sich bei einem mittleren Niederschlag von 707 mm und einer mittleren Temperatur von 7,5 °C für das Bearbeitungsgebiet eine durchschnittliche Verdunstung von 420 mm errechnen.

'.3 Unterirdischer Abfluß

Aus der Bestimmung des oberirdischen Abflußgeschehens ergibt sich nach WUNDT (1958) durch Ermittlung des mittleren kleinsten monatlichen oberirdischen Abflusses des Sommerhalbjahres (SoMNq) bzw. des mittleren oberirdischen monatlichen Niedrigwasserabflusses (1/12 MoMNq) der mittlere kleinste und der mittlere Grundwasserabfluß.

Aus der Beobachtung des oberirdischen Abflußgeschehens leitet WUNDT somit die Grundwasserneubildungsrate ab.

Nach NATERMANN (1958) kann mit Hilfe der Trockenwetterauslauflinie, die auf der natürlichen Funktion

$$Q_t = Q_o \cdot e^{-\alpha \cdot \Delta t} \quad (m^3/s)$$

beruht, ebenso das unterirdische Abflußgeschehen beurteilt werden wie mit dem graphischen Verfahren nach KILLE (1970), das aufgrund von unterschiedlichen Häufigkeiten von verschiedenen oberirdischen Abflußereignissen eine durchschnittliche Grundwasserneubildungsrate ableiten läßt.

Da das Verfahren nach WUNDT eine gesicherte Aussage über den unterirdischen Abfluß zuläßt, wird im folgenden mit dieser Methode gerechnet.

Wie der Tabelle 27 zu entnehmen ist, wird das Bearbeitungsgebiet von insgesamt sechs mehrjährig beobachteten Gewässern durchströmt. Da die jeweiligen Beobachtungszeiträume zum Teil kleiner als 10 Jahre sind, ist zunächst die Aussagekraft der entsprechenden Meßreihen zu überprüfen. Als Grundlage hierzu kann der 51jährige Meßzeitraum der Niederschlags- und Abflußkarten nach KERN (1901 - 1951) und der 30jährige Meßraum von 1931 - 1960 (Schriftenreihe der Bayer. Landesstelle für Gewässerkunde, 1975) angesehen werden. Ein Vergleich der Meßzeiträume 1971 - 1976 ergibt hierbei mit dem Meßzeitraum 1901 - 151 eine hinreichend genaue Übereinstimmung der Niederschlagswerte.

Tab. 28 Niederschlagswerte einzelner Regenmeßstationen im Bearbeitungsgebiet

Meßort	Meßzeitraum			Niederschlagsunterschiede	
	a 1901-51	b 1931-60	c 1971-76	a - c	b - c
Krämers-weiher	790 mm	800 mm	782 mm	+ 8	+18
Altdorf	845	820	845	± 0	-20
Feucht	720	740	705	+15	+45
Schwand	630	650	615	+15	+45
Pyrbaum	725	760	716	+ 9	+44
Allers-berg	660	750	658	+ 2	+98
Freystadt	740	750	661	+79	+89
Durchschnitt der Abwei-chungen (ohne Frey-stadt)				+ 8	+36

Eine Ausnahme bilden die Niederschläge um Freystadt. Da sich diese Meßstation im Einzugsbereich der Schwarzach (Opf.) befindet und eine Bestimmung der Grundwasserneubildung in deren Einzugsbereich aufgrund einer fehlenden Meßstation nicht durchgeführt werden konnte, werden diese Abweichungen für die weiteren Betrachtungen vernachlässigt. Die durchschnittliche Abweichung des Meßzeitraumes a zum Zeßzeitraum c beträgt 8 mm, des Meßzeitraumes b zu c beträgt 36 mm. Die im Meßzeitraum 1971 - 1976 gemessenen Niederschläge sind somit geringfügig niedriger als in den Durchschnitten der Jahre 1901 - 1951 und 1931 - 1960 (Tab. 28).

Insgesamt gelangt ohne Berücksichtigung der Pegnitz ein MQ von 1,70 m^3/s zum Abfluß, bei einer mittleren oberirdischen Abflußspende Mq von 5,00 $l/s \cdot km^2$. Nach WUNDT können mittlere Grundwasserneubildungsraten von 2,18 - 5,30 $l/s \cdot km^2$ bzw. 69 - 167 mm/Jahr errechnet werden, wobei die höchsten Grundwasserneubildungsraten für den Bereich der Schwarzach (Mfr.) gelten (vgl. Tab. 29).

Auffallend hoch erscheint die Grundwasserneubildungsrate im Bereich der Pegnitz zu sein. Betrachtet man jedoch die Anlagen 2a und 2b, so wird klar, daß das Grundwassereinzugsgebiet der Pegnitz bis über das Gradabteilungsblatt 1 : 25 000 Röthenbach hinausreicht. Wasserpflichtig sind die Grundwasserstockwerke des ks - kbu, des kbm, kbo und qu

Tab. 29 Bestimmung des mittleren und mittleren kleinsten Grundwasserabflusses nach WUNDT

(ohne Berücksichtigung der künstlichen Grundwasserentnahme)

Gewässer	Meßort	Meßzeitraum	Niederschlags-gebiet FN km^2	Mittlerer Abfluß MQ m^3/s	Abfluß-spende Mq $l/s.km^2$	Grundwasserspende mittlere 1/12 MoMNq $l/s.km^2$	mittlere kleinste SoMNq $l/s.km^2$	Grundwasserneu-bildung mittlere Mqu mm	mittlere kleinste Mminqu mm
Pegnitz	Lauf	1969-76	950	8,62	9,07	7,19	5,59	227	176
Pegnitz	Nürnberg Lederersteg	1921-73	1192	11,26	9,45	7,26	5,93	229	187
Röthenbach	Röthenbach	1966-76	78,6	0,46	5,85	3,55	2,15	112	68
Schwarzach (Mfr.)	Rasch	1921-73	208,81	2,00	9,58	4,76	2,73	150	86
Schwarzach (Mfr.)	Wendelstein	1951-73	321,37	2,72	8,46	4,95	3,18	156	100
Schwarzach (Mfr.)	Rasch bis Wendelstein	1951-73	112,56	0,72	6,40	5,30	4,01	167	126
Hembach	Oberfichten-mühle	1971-76	54,5	0,19	3,49	2,38	1,22	75	38
Finsterbach	Meckenlohe	1971-76	33,4	0,11	3,29	2,18	1,20	69	38
Kleine Roth	Haimpfar-rich	1971-76	35,5	0,21	5,92	3,48	2,37	110	78
Brunnbach+		1965				5,35	3,0	169	95

+nach Angaben von W. MÜLLER (1970)

Tab. 30 Vergleich der mittleren jährlichen Abflußspenden (Mq) der Meßzeiträume 1901 - 1951, 1931 - 1960 und 1971 - 1976

Gewässer	Zeitraum a 1901-1951 Mq l/s·km²	Zeitraum b 1931-1960 Mq l/s·km²	Zeitraum c 1971-1976 Mq l/s·km²	künstl. Grundw. Entnahme Ø1971-76 l/s·km²	Mq-Defizit Zeitraum a zu c l/s·km²	Zeitr b zu l/s·k
Röthenbach	9,0	8,4	5,9	2,5	3,1	2,5
Schwarzach (Mfr.) (zwischen Rasch und Wendelstein)	8,2	7,9	6,4	0,5	1,8	1,5
Hembach	6,5	6,0	3,5)	1,6	3,0	2,5
Finsterbach	6,0	5,4	3,3)		2,7	2,1
Kleine Roth	6,0	6,0	5,9	0,5	0,1	0,1
Durchschnitt	7,1	6,7	5,0	1,4	2,1	1,7

Nach den Mq-Karten (1901 - 1951) von KERN (1954) sind für das Bearbeitungsgebiet mittlere Abflußspenden von 7,1 l/s . km^2, nach dem Mittel der Jahre 1930 - 1960 6,7 l/s . km^2 zu erwarten. Als Fehlergrenze gibt KERN zu seinen Karten Abweichungen von max. 10 % an. Zur Klärung des deutlichen Unterschiedes zu den Werten der Jahre 1971 - 1976 von immerhin ca. 2 l/s . km^2 oder der Abweichung von ca. 30 % seien in Tabelle 30 die Ergebnisse der einzelnen Darstellungen aufgeführt.

Der Aufstellung ist entnehmbar, daß bei Vergleich des Zeitraumes 1971 - 1976 mit dem Zeitraum 1901 - 1951 ein Defizit von 2,1 l/s . km^2 bei praktisch gleichen Niederschlagshöhen vorhanden ist. Der Vergleich mit dem 30jährigen Mittel mit höheren Niederschlagswerten ergibt ebenso ein Defizit von 1,81 l/s . km^2 an mittlerem Abfluß.

Berücksichtigt man die künstlichen Grundwasserentnahmen aus dem unterirdischen Einzugsgebiet der genannten Gewässer mit Ausnahme der Pegnitz, so ergibt sich eine mittlere Grundwasserentnahme von 1,4 l/s . km^2 für den Zeitraum von 1971 - 1976. Da ein Großteil der geförderten Grundwässer aus dem Bearbeitungsgebiet abgeführt wird, ohne in die entsprechenden Vorfluter zu gelangen, kann dieser Betrag zum mittleren Abfluß von 1971 - 1976 zuaddiert werden. Es ergeben sich dann Defizite von nur noch 0,7 l/s . km^2 bzw. 0,3 l/s . km^2 entsprechend 10 % bzw. 5 %.

.3.1 Grundwasserneubildung im Bereich der Kleinen Roth, des Hembaches und Finsterbaches

Ein Vergleich der hydrogeologischen Gegebenheiten der Kleinen Roth, des Finsterbaches und Hembaches zeigt, daß das Einzugsgebiet aller drei Gewässer vom geologischen Rahmen her ähnlich aufgebaut ist. Wie den beiden Karten der Grundwasserhöhengleichen und den Profilserien (Anlagen 1, 2 a, 2 b) zu entnehmen ist, bilden die Kleine Roth und deren Sedimente den Vorfluter des Grundwasserstockwerkes des ks - kbu und des kbm und kbo, der Finsterbach und Hembach den Vorfluter vornehmlich des oberen Grundwasserstockwerkes des kbm und kbo. Der Vergleich des Niederschlagsganges an vier umliegenden Regenmeßstationen läßt gleichartige Niederschläge erwarten. Trotz der ähnlichen äußeren Verhältnisse weist die Kleine Roth im Gegensatz zu den beiden anderen Gewässern neben einem erhöhten Mq ein entschieden erhöhtes Hq auf. Dies bedeutet, daß die hohen Niederschläge im Einzugsbereich der Kleinen Roth rascher an den Vorfluter abgegeben werden.

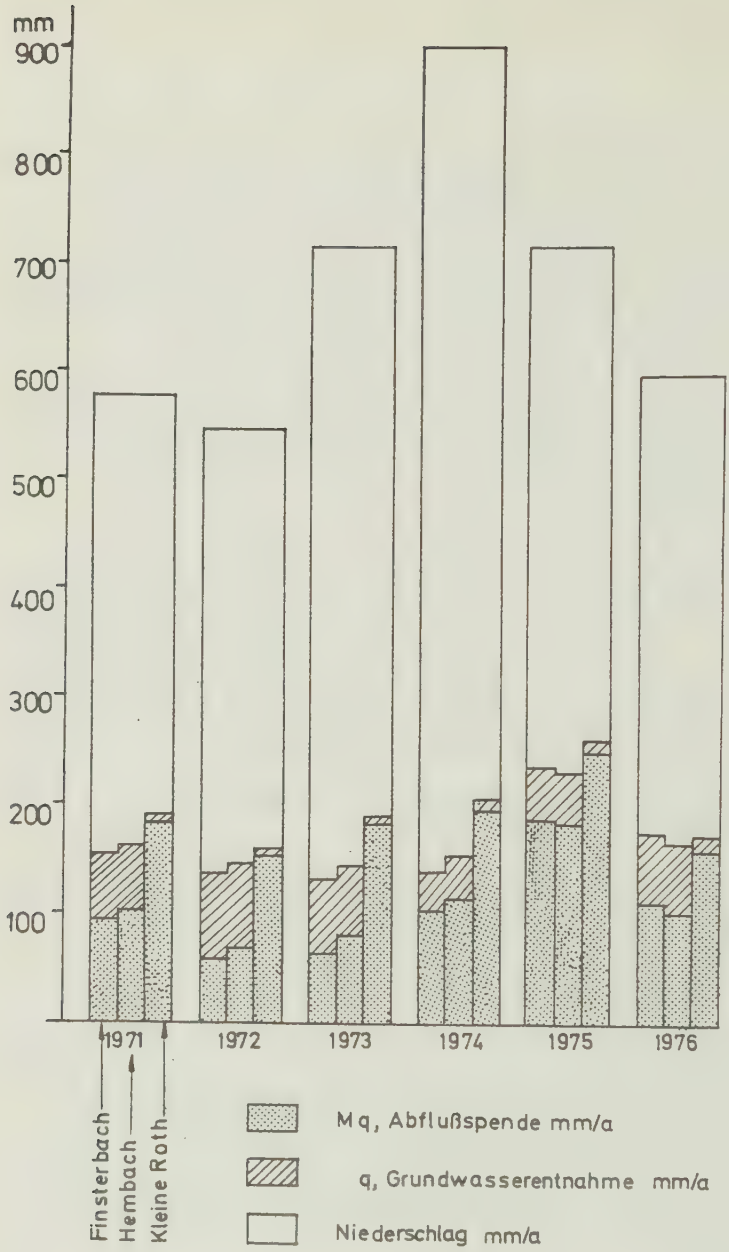


Abb. 25: Mittlere Abflußspenden des Finsterbaches, des Hembaches und der Kleinen Roth in Bezug zur künstlichen Grundwasserentnahme

Setzt man den mittleren grundwasserbürtigen Abfluß der Vorfluter in Beziehung zum Mittelwasser (Mq), so ergeben sich für alle drei Gewässer gleiche Anteile von 59 bis 68 % des Grundwassers an der mittleren Abflußspende. Dies erklärt nicht das Mq-Defizit im Bereich des Hembaches und des Finsterbaches. Zieht man die in den 50er und 60er Jahren erstellten Brunnen mit in die Überlegungen ein, so ergeben sich im oberirdischen Einzugsgebiet der beiden Bäche künstliche Entnahmemenge für die Jahre 1971 - 1976 von insgesamt 1,6 l/s . km^2 (Abb. 25).

Die durchschnittliche Grundwasserneubildungsrate nach dem Verfahren nach WUNDT (Tab. 30) beträgt im Bereich des Finster- und Hembaches durchschnittlich 2,3 l/s . km^2 und im Bereich der Kleinen Roth 3,5 l/s . km^2. Es zeigt sich, daß nach Addition der künstlichen Entnahmemengen zu dem Mittelwasserabfluß eine deutliche Korrelation des Abflußgeschehens der Bäche insgesamt möglich ist. Dies bedeutet, daß sich die Grundwasserentnahmemengen großräumig im Einzugsbereich des Hembaches und Finsterbaches und nicht auf die Kleine Roth auswirken.

Die tatsächliche Grundwasserneubildung dürfte nach Addition der künstlichen Grundwasserentnahme zu den Berechnungen nach WUNDT im Gebiet des Finsterbaches und des Hembaches bei ca. 3,0 - 3,2 l/s . km^2 liegen und ähnelt somit der Grundwasserneubildungsrate im Bereich der Kleinen Roth.

.3.2 Grundwasserneubildung im Bereich des Röthenbachs

Das aus dem unterirdischen Einzugsgebiet des Röthenbachs geförderte Keuper- und Quartär-Grundwasser wird nahezu vollständig aus dessen oberirdischen Einzugsgebiet abgeführt. Addiert man die Grundwasserentnahme zu dem in Tab. 29 ermittelten Mq, so kann eine weitgehende Übereinstimmung mit den von KERN ermittelten Abflußspenden der Jahresreihen 1901 - 1951 und 1931 - 1960 erzielt werden (vgl. auch S. 123).

Bezogen auf die mittlere kleinste und mittlere Grundwasserspende dürfte somit nach WUNDT mit einer Grundwasserneubildung von ca. 4,6 bis 6,0 l/s . km^2 zu rechnen sein.

.3.3 Grundwasserneubildung im Bereich der Schwarzach (Mfr.)

Von weiterer grundsätzlicher Bedeutung scheint der extrem hohe grundwasserbürtige Anteil am Mittelwasser der Schwarzach im Bereich Rasch - Wendelstein zu sein. Die Ursache dürfte darin liegen, daß sowohl die begrabene Talrinne der Schwarzach wie auch das

jetzige Gewässer Vorfluter der Grundwasserstockwerke des kbu, des kbm und des kbo darstellen. Ferner wird die Versickerungsrate und damit die Grundwasserneubildung im Bereich der begrabenen Rinne durch mächtige Lockersande begünstigt.

7.3.4 Grundwasserneubildung im Bereich der Rät-Lias-Übergangsschichten und des Unteren Lias

Bedingt durch das tiefe Einschneiden fast aller Vorfluter in die Keuper- und Juragesteine ragen in weiten Bereichen die größtenteils verebneten Flächen des Unteren Lias und des Rätsandsteins als Halbinseln nach Westen vor. Im Liegenden werden sie von dem bis zu 60 m mächtigen Wasserstauer des Feuerlettens begrenzt. Dieser Übergang zeichnet sich als markanter Quellhorizont ab.

Da die nur in engen Grenzen schwankenden Schüttungen (RADIG & REICHEL 1978) der grundwasserbürtigen Quellen in ihrer Summe als Äquivalent der Grundwasserneubildung betrachtet werden können, wurden möglichst alle entsprechenden Quellaustritte erfaßt. Die Ermittlung der jeweiligen Einzugsgebiete ist zumeist aufgrund der oben dargestellten morphologischen Stellung relativ eindeutig zu führen. Aus der Tab. 31 kann somit die Grundwasserneubildung der einzelnen in Frage kommenden Bereiche entnommen werden. Insgesamt kann mit einer Grundwasserneubildungsrate im Bereich des genannten Grundwasserleiters von 3,7 l/s . km^2 gerechnet werden. Die Ergebnisse beziehen sich auf Messungen, die im Herbst 1977 durchgeführt wurden. Sie können näherungsweise als Mittelwerte aufgefaßt werden.

Tab. 31 Grundwasserneubildung in verschiedenen Einzugsgebieten der Rät-Lias-Übergangsschichten und des Unteren Lias

Einzugsgebiet	Fläche (km^2)	Grundwasserspende (l/s . km^2)
Schönberg - Hüttenbach$^+$	0,4	4,5
Kalter Brunnen (westl. Autobahnkreuz Altdorf)	0,4	3,9
Pattenhofen - Grünsberg - Penzenhofen - Rummelsberg	4,1	3,8
Untermimberg	1,1	3,4

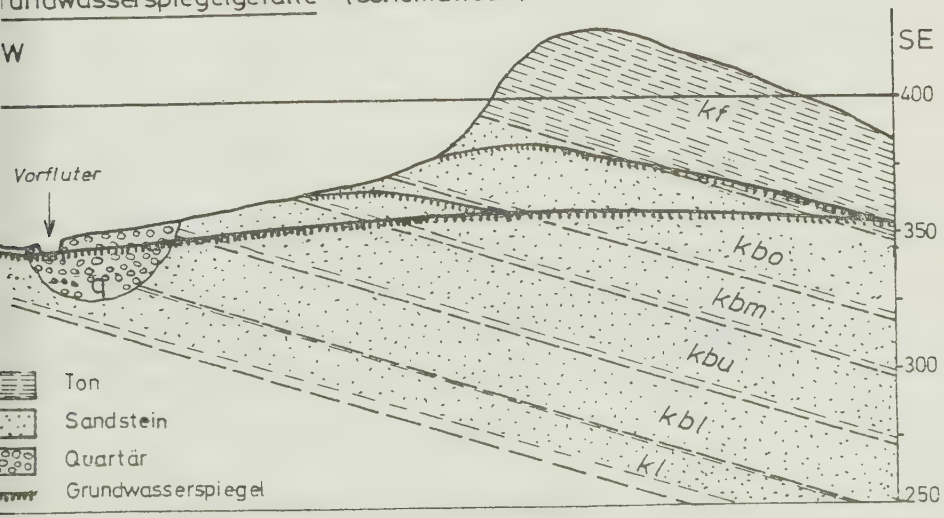
$^+$natürliche und künstliche Abgaben

Einzugsgebiet	Fläche (km^2)	Grundwasserspende ($l/s \cdot km^2$)
Rübleinshof - Burgthann	1,4	3,4
Rübleinshof - Burgthann - Untermimberg	2,4	3,0
Göggelsbuch - Auholz - Untermimberg	1,8	3,7
Durchschnitt aller Einzugsgebiete:		3,7

7.3.5 Grundwasserneubildung im Mittleren Keuper unter Feuerlettenbedeckung

Eine Grundwasserneubildung unter den bis zu 60 m mächtigen, tonig ausgebildeten Feuerletten mit k-Werten kleiner als 10^{-8} m/s findet nur in höchst geringem Ausmaße statt und muß vornehmlich in den Gebieten des nicht bedeckten Keupers erfolgen (vgl. Abb. 26). Untersuchungen von ANDRES & GEYH (1970) bestätigen im wesentlichen diese Aussage durch Grundwasseraltersbestimmungen entlang eines Profils von Brunnen, die Grundwasser aus von Feuerletten bedeckten Keupersandsteinen fördern: Mit zunehmendem Abstand von dem Feuerlettenausbiß nimmt entsprechend dem Druckgrundwasserspiegelgefälle das Alter der geförderten Grundwässer in Richtung Südosten zu. Hieraus leiten die genannten Autoren Abstandsgeschwindigkeiten von ca. 2,2 m/Jahr ab.

bb. 26:
rundwasserspiegelgefälle (schematisch)



7.3.6 Zeitlicher Verlauf der Grundwasserneubildung

Seit November 1977 wurde im monatlichen Turnus ein in unmittelbarer Nähe der Autobahn München - Nürnberg befindlicher aufgelassener Brunnen beprobt, der Grundwasser des dortigen Stockwerkes des Unteren Burgsandsteins bei einem durchschnittlichen Flurabstand von ca. 14,5 m erschließt. Ferner wurde eine im näheren Bereich des Brunnens befindliche Quelle im gleichen Turnus beprobt (Abb. 27).

Wie aus Abb. 27 ersichtlich, kann eine Erhöhung des Chlorid-Gehaltes im Grundwasserstockwerk des kbu deutlich nach Beginn der Salzstreuung verfolgt werden. Dieser Anstieg des Chlorid-Gehaltes stellt eine Funktion der Grundwasserneubildung und der vertikalen Sickerrate dar. Das Chlorid-Ion zeichnet sich im Vergleich zu den anderen Ionen offensichtlich dadurch aus, daß es weder durch Bewuchs noch durch Lösungsgenossen, Ausfällung, Ionenaustausch, Redoxreaktionen usw. beeinflußt wird.

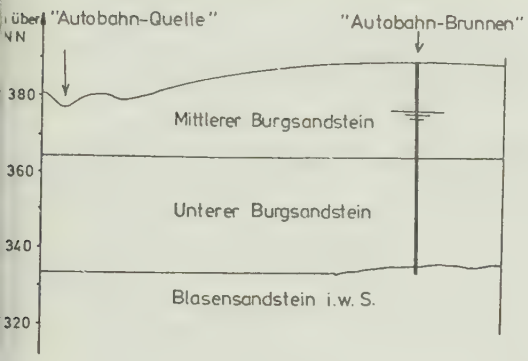
Die vertikale Sickerrate in Form der maximalen Geschwindigkeit $V_{sa\ max}$ und der mittleren Geschwindigkeit $V_{sa\ m}$ beträgt nach Auswertung der in Abb. 27 dargelegten Versuchsreihe ca. 0,6 bzw. ca. 0,2 m/Tag (vgl. Tab. 32).

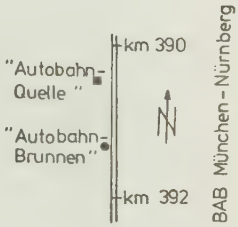
Tab. 32 Ermittlung der vertikalen Sickerrate

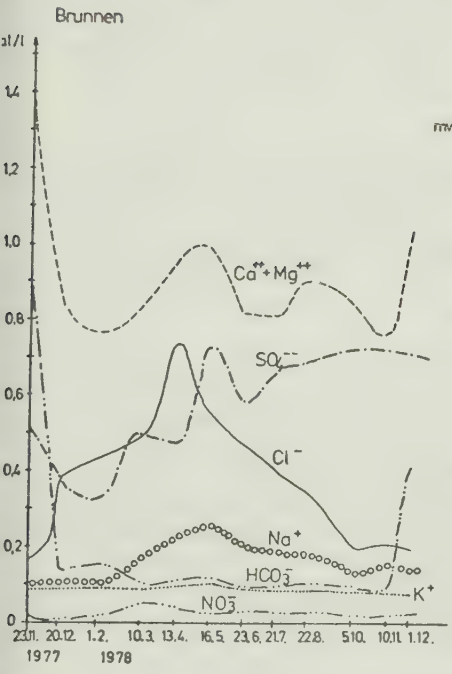
mittlerer Flurabstand	14,5 m
Beginn der Streuung	14.11.1977
Beginn des NaCl-Anstieges im Grundwasser	08.12.1977
$V_{sa\ max}$	0,6 m/Tag oder $6{,}9 \cdot 10^{-6}$ m/s
Maximum der Streuung	14.02.1978
Maximum des Chlorid-Gehaltes im Grundwasser	16.04.1978
$V_{sa\ m}$	0,24 m/Tag oder $2{,}7 \cdot 10^{-6}$ m/s

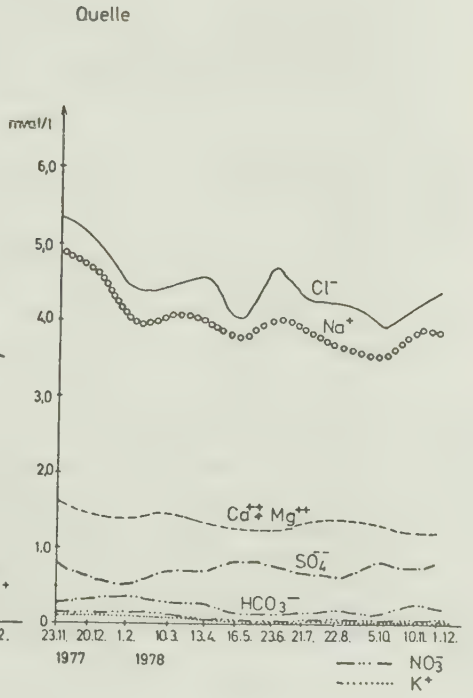
Zur Stoffbilanz des Chlorideintrages seien folgende Überlegungen angestellt: Entlang des Grundwassereinzugsgebietes der beprobten Quelle (1800 m) wurden im Winter 1977/78 innerhalb eines Zeitraumes von 128 Tagen, soweit dies quantifizierbar ist, ca. $5{,}5 \cdot 10^3$ kg Cl^- gestreut. Durch die Quelle wurden davon, bei einer mittleren Schüttung von 0,6 l/s im Laufe des Meßjahres $3{,}2 \cdot 10^3$ kg Cl^-/a abgeführt. Die Cl^--Markierung konnte

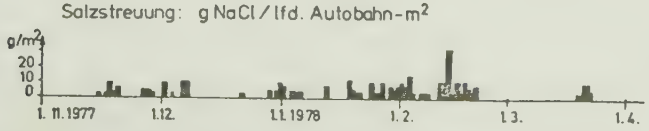
Beeinflussung des Grundwasserchemismus durch Salzstreuung an der Autobahn München-Nürnberg, südlich von Feucht











mit zeitlicher Verzögerung der Laufzeit, des Einsatzes und des Gipfelwertes im Grundwasser des kbu innerhalb eines Zeitraumes von 304 Tagen verfolgt werden (vgl. Abb. 27). Ferner ist ein Basischlorid-Gehalt von Oktober bis Dezember 1978 erkennbar. Durch Integration läßt sich aus der Abb. 27 ein durchschnittlicher Wert von Cl^-_{GW} = 8,6 mg Cl/l in 304 Tagen errechnen.

Der über das ganze Jahr währende Abtransport der relativ kurzzeitigen NaCl-Einspeisung im Winter deutet auf ein großes NaCl-Rückhaltevermögen in einem beidseitig dichten Sickerbett der Autobahn hin. Die NaCl-Abfuhr ist eine Funktion der seit Jahren andauernden Salzstreuung. Da die Meßreihen jedoch nur während eines Jahres betrieben wurden, erscheint eine Ableitung der in das Grundwasser versickerten Mengen noch als unzulässig. Die tatsächliche, für die Grundwassereinspeisung relevante Menge an NaCl muß im und über den Spritzwasserbereich hinausgesehen werden.

Um dies bestimmen zu können, müßte in über diese Arbeit hinausgehenden mehrjährigen Versuchsreihen die Menge des NaCl-behafteten Spritzwassers bestimmt werden. Sind diese Quantitäten bekannt, so erscheint eine entsprechende Ableitung zur Bestimmung der Versickerungsrate und der Grundwasserneubildung sinnvoll.

8. Einfluß umweltbezogener Schadstoffe auf das Grundwasser

Insgesamt seien drei Hauptquellen bei einer eventuellen Grundwasser-Kontamination durch Schwermetalle genannt:

1. Besiedlung, Industrie
2. Uferfiltration belasteter Flüsse
3. Belastung des Grundwassers durch den Straßenverkehr

Lediglich Röthenbach/Pegnitz weist in dem mäßig besiedelten Bearbeitungsgebiet eine schwermetallverarbeitende Industrie auf, die durch Flockung geklärtes Abwasser an die Pegnitz abgibt. Da im Bereich des Pegnitzquartärs im natürlichen Zustand gespanntes Grundwasser nachweisbar ist, kann nur eine geringe Belastung des Grundwassers durch Uferfiltration angenommen werden.

Auch die übrigen Bäche stellen mit Ausnahme der Schwarzach (Opf.) die Vorfluter der oberen Grundwasserstockwerke dar

und kommen für Kontaminationen des Grundwassers kaum in Frage.

Im Bereich der Schwarzach (Opf.) hingegen ist eine Belastung durch Uferfiltration nachweisbar (vgl.Kap. 4.1.2).

Das Bearbeitungsgebiet wird durch insgesamt 60 Autobahnkm einschließlich des Nürnberger Kreuzes durchzogen. Um den Einfluß des Straßenverkehrs auf das Grundwasser zu erkunden, wurde für die Untersuchungen ein nahe neben der Autobahn A 9 befindlicher Brunnen herangezogen, der Grundwasser des Grundwasserstockwerkes des ks - kbu erschließt (Abb. 27).

Der Brunnen befindet sich im Scheitelpunkt des Einzugsgebietes einer Quelle (Hebenbach), die zum Teil von dem Sickergraben der Autobahn gespeist wird. Die Quelle wurde im gleichen Turnus wie der Brunnen beprobt (vgl. Kap. 7.3.6).

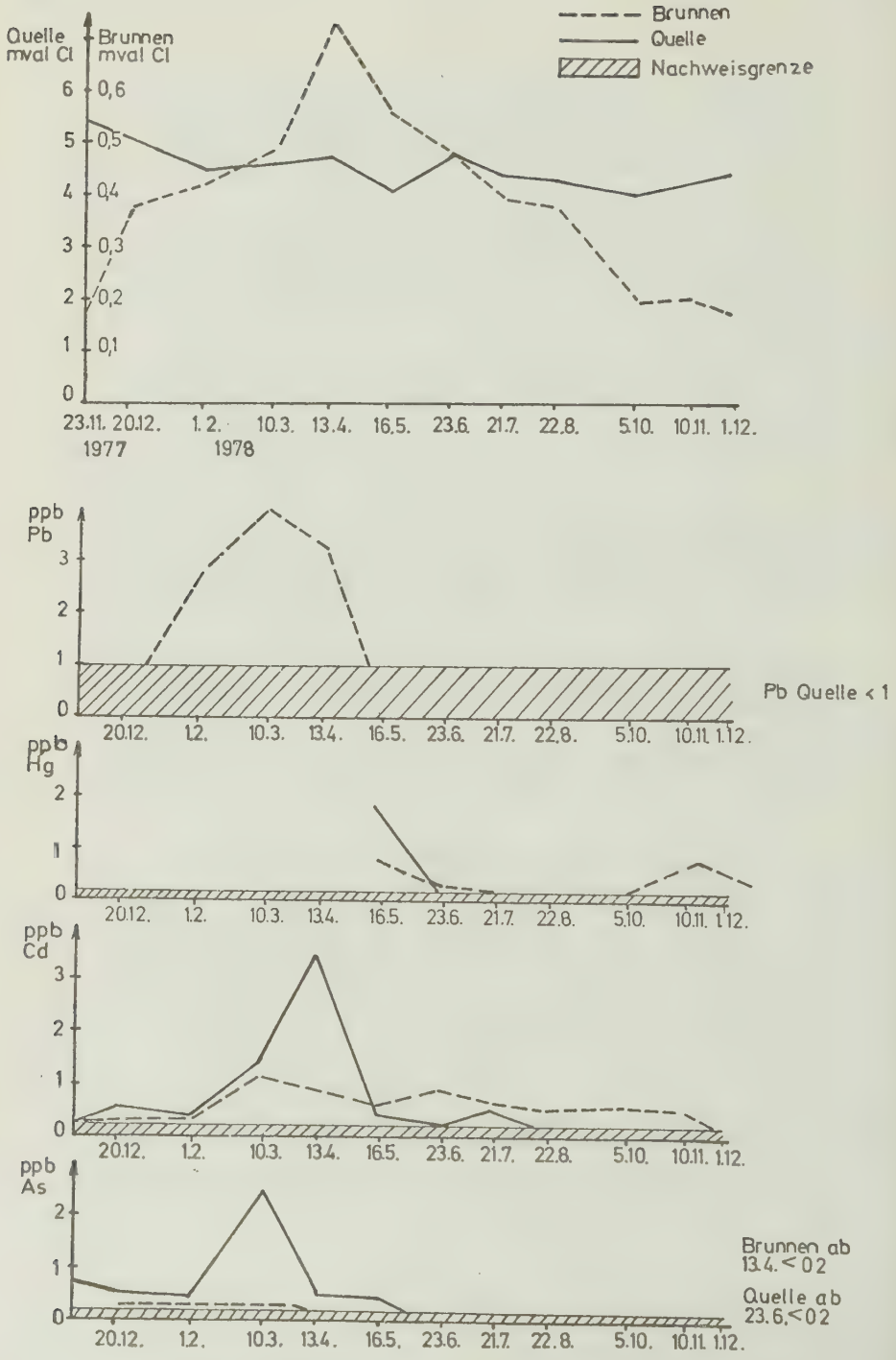
Seit 1970 wurden umfassende Untersuchungen des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung (GOLWER 1978) über die Schwermetallbelastung des Grundwassers durch den Straßenverkehr ergaben, daß bei insgesamt 14 Hauptbestandteilen und 21 Spurenanteilen lediglich das Element Blei sowie der Chlorid-Gehalt Hauptindikatoren einer Grundwasserbelastung durch den Straßenverkehr darstellen. Die Untersuchungen wurden im Bereich der stark befahrenen A 3 in dortigen Kiesen und Sanden durchgeführt. Als straßenspezifische Belastungsstoffe werden neben den Hauptbestandteilen Na, K, Ca, SiO_2, Al, Fe, Mn, Cl, HCO_3 und PO_4 die Spurenelemente As, Pb, Cd, Ni, Cu, Ti und Zn (GOLWER et al. 1976) angegeben. Wie Tabellen zu entnehmen ist, besitzen die oberflächennahen Bodenschichten für den Fahrbahnabfluß durch ihre adsorptiven Eigenschaften eine wichtige Reinigungsfunktion.

Von den Wasserlaboratorien Roetgen, TH Aachen (1978) durchgeführte Untersuchungen über die Remobilisierung von Schwermetallen in Rheinsedimenten ergaben bei Gegenwart von hohen Chlorid-Gehalten für die Elemente Cu und Cd ein remobilisierendes Verhalten sowie bei Gegenwart von hohen Chlorid-Gehalten und zusätzlich starker organischer Belastung ein remobilisierendes Verhalten für die Elemente Cr, Cd, Hg, Pb und Zn. Hieraus wäre ableitbar, daß bei der jeweiligen Belastung von NaCl-behaftetem Niederschlagswasser lediglich die Elemente Cd und Cu aus ihrem adsorptiven Verband gelöst werden.

Ergebnis eigener Untersuchungen

Die Bestimmungen über das Verhalten der Elemente As, Pb, Cd und zum Teil Hg zeigen folgende Ergebnisse (Abb. 28).

Abb. 28:


Brunnen
Quelle
Nachweisgrenze
Quelle mval Cl
Brunnen mval Cl
6
5
4
3
2
1
0
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
23.11. 20.12. 1.2. 10.3. 13.4. 16.5. 23.6. 21.7. 22.8. 5.10. 10.11. 1.12.
1977
1978
ppb Pb
Pb Quelle < 1
ppb Hg
ppb Cd
ppb As
Brunnen ab 13.4. < 0.2
Quelle ab 23.6. < 0.2

Mit dem für die Grundwasserbelastung spezifischen Verlauf der Chlorid-Gehalte im Grundwasserstockwerk des kbu läuft nahezu parallel das Blei. Die Elemente As, Cd und Hg, dessen Bestimmung methodisch bedingt erst ab Mai 1978 erfolgen konnte, weisen erhöhte Gehalte u. a. während der Chloridbelastung des kbu-Grundwassers auf und sind vor allem mit geringen zeitlichen Verzögerungen nach der Salzstreuung in der beprobten Quelle nachweisbar.

Die Ergebnisse sind zunächst überraschend, zumal durch das Verhalten von Na und Ca+Mg (vgl. Abb. 27) nachweisbar ist, daß Kationenaustauschvorgänge bei der NaCl-Passage vom Sickerwasserbereich in das Grundwasser stattgefunden haben müssen.

Nach FÖRSTNER & MÜLLER (1974) weisen Kationenaustauscher bei Austauschkapazitäten von 3 - 15 mval/100 g für Schwermetalle eine deutlich höhere Haftfähigkeit auf als für Erdalkali- und Alkaliionen:

Schwermetallionen > Erdalkaliionen > Alkaliionen

Nach SCHWILLE (1954) und LÖHNERT (1970) gilt folgendes Gleichgewicht:

$$2\ NaCl + \frac{Ca}{Mg}\ A \rightleftarrows Na_2\ A + \frac{Ca}{Mg}\ Cl_2$$

Dies besagt, daß eine Zunahme von NaCl in Form der Salzstreuung das obige Gleichgewicht nach rechts verschiebt und somit eine Umkehrung der Kationenbindungsverhältnisse bewirkt. Durch die dargestellte Gleichgewichtsverschiebung nach rechts könnte ferner einer Störung des herrschenden Kalk-Kohlensäuregleichgewichtes in Betracht gezogen werden, was sich in der drastischen Abnahme des HCO_3-Ions beim Auftreten des Cl-Ion zeigt (vgl. Abb.27).

Treffen die genannten Überlegungen zu, so ist gleichzeitig mit der Änderung des HCO_3-Gehaltes eine Zunahme von aggr. Kohlensäure und dementsprechend eine Abnahme des pH-Wertes in einen saureren Bereich hinein ableitbar.

Nach FÖRSTNER und MÜLLER (1974, S. 155/156) tritt eine verstärkte Remobilisierung von Schwermetallen bei Änderung des pH-Wertes in o. g. Richtung auf.

Die Verminderung der Adsorptionsfähigkeit durch die oben beschriebenen Reaktionen könnten demnach wirksame Faktoren für die Remobilisierung und dann Passage vor allem des Bleis darstellen.

Die im wesentlichen im März und April 1978 aufgetretenen Maxima der As-, Cd- und wohl auch der Hg-Gehalte in der beprobten Quelle sind derzeit nicht näher erklärbar. Zu denken wäre an eine höhere Belastung des kbm-Quellwassers durch die Salzstreuung. In deutlichem Widerspruch hierzu steht jedoch die in dem gleichen Zeitraum nicht erfolgende Erhöhung der NaCl-Gehalte der beprobten Quelle.

Für die Elemente Zn, Ni und Cu konnten keine periodisch bzw. saisonal bedingte Schwankungen festgestellt werden.

9. Zur Hydrochemie des Urans

Seit dem Jahre 1956 wird im mittelfränkischen Raum eine umfassende Uranprospektion im Bereich des gesamten Burgsandsteins betrieben. Zunächst wurden systematisch Oberflächen-Aufschlüsse radiologisch erfaßt, katalogisiert (ABELE, BERGER, SALGER 1962) und Richtwerte erstellt. Es ergaben sich dabei geschätzte Gehalte von 10 - 20 g Uran-Äquivalente/t für den uran-haltigen Burgsandstein. Die Uran-Äquivalente sind zumeist in Aktivarkosen gebunden, deren Bildung eng mit Apatit-führenden Lettenlagen in einem ehemals limnischen endseenreichen Ablagerungsmilieu verknüpft sind. In jüngerer Zeit wird versucht, durch eine systematische Aufnahme des Untergrundes mit unterschiedlichen Verfahren weiteren Aufschluß über die Uranerzhöffigkeit des Burgsandsteines zu erhalten.

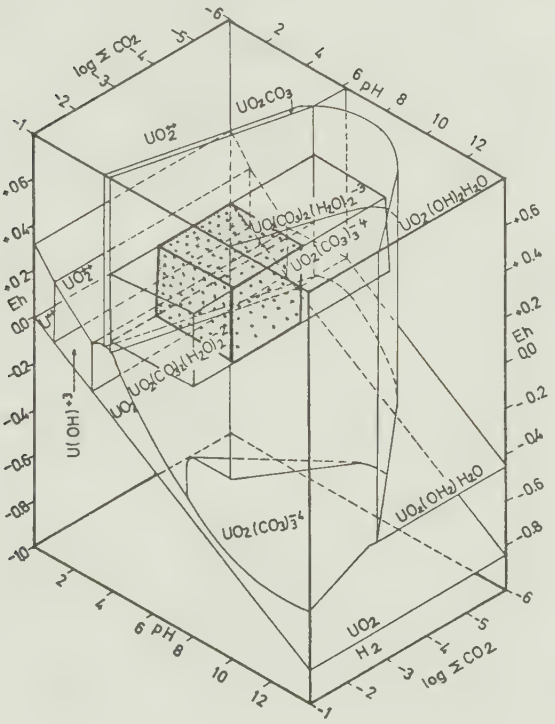
9.1 Zur Genese

Nach MAUCHER (1962) ist "der wesentliche Vorgang der Uranlagerstättenbildung vom Sandsteintypus auf mehrfache Fällung und Umlagerung aus uranhaltigen Lösungen im Grundwasserbereich zurückzuführen. Der Großteil des Urans stammt aus Verwitterungslösungen granitischer Hochgebirge ...". Die Größe der Urananreicherung ist nicht von der Konzentration der Lösungen, sondern von der Gesamtmenge des durch einen Fällungsquerschnitt transportierten Urans abhängig. In diesem Ausfällungsbereich müssen reduzierende Bedingungen vorherrschen, die eine Reduktion von löslichen sechswertigen Uranverbindungen zum nahezu unlöslichen vierwertigen Urandioxid (Pechblende) bewirken können.

9.2 Zur Hydrochemie

In einem Diagramm von GARRELS (1960) werden die physikochemischen Ausfällungsbedingungen des Urans näher erläutert (Abb. 29).

Abb. 29: Hydrogeochemie des Urans



Physikochemischer Rahmen der Grundwässer des mittleren Keupers im Bearbeitungsgebiet

Weitere Diagramme, die von GARRELS (1960, S. 127, 137, 142) dargestellt werden, sind Hinweise für die engen physikochemischen Grenzen des Urantransportes. Es ist ferner anzunehmen, daß ein ständiger Wechsel in den Lösungsgleichgewichten vorherrscht. Ziel einer hydrogeochemischen Prospektion ist, ob und in welchem Maße ein Urantransport im Grundwasserbereich stattfindet und ob im Untergrund natürliche Redoxzonen ausgebildet sind, die für eine Ausfällung von vierwertigem Uran in Frage kommen.

Ergebnisse:

Im Bereich des nicht bedeckten Keupers, in dem das Grundwasser dem Regnitz-Main-System zugewandt ist, weisen Grundwasser-Urananalysen sehr häufig Werte auf, die kleiner als 0,1 ppb UO_2 sind. Ausnahme bildet hierbei lediglich der Wendelsteiner Höhenzug, von dem lokale hydrothermale Vererzungen bekannt sind (v. GEHLEN, 1956).

Im Bereich des bedeckten Keupers steigen die Uran-Gehalte des Grundwassers rasch an. Hierbei ist im südöstlichen Bereich des Bearbeitungsgebietes ein Maximum der Uran-Gehalte des Grundwassers gegeben (bis zu 20ppb).

Abhängigkeiten der Uran-Gehalte von physikochemischen Daten der geförderten Mischgrundwässer sind lokal erkennbar, jedoch nicht ausgeprägt.

Diskussion:

Die entschieden erhöhte Grundwasserneubildung ist in den unbedeckten Teilen des Keupers verantwortlich für hohe Transportraten und damit gleichbleibende niedrige Uran-Gehalte.

Im Bereich des bedeckten Keupers ist die Grundwasserneubildung erheblich verlangsamt, es bildet sich ein angenähertes Lösungsgleichgewicht mit höheren Konzentrationen heraus. Sogenannte Uranfallen, in denen Grundwässer mit unterschiedlichen Redoxsystemen aneinander grenzen, sind im Grenzbereich der ESE-WNW streichenden Eisenführenden Gürtel bei Feucht und Allersberg (vgl. Kap. 3.1.2.2) zu vermuten. Diese scheinen jedoch aufgrund von Lösungs- und Strömungsgleichgewichten nur auf diffuse Räume verteilt zu sein und weisen keine scharfen Grenzen auf. Eine wirtschaftliche Anreicherung findet demnach im Bereich des Bearbeitungsgebietes nicht statt.

10 Mineralwässer

Als Mineralwasservorkommen im Sinne der Definition treten im Bearbeitungsgebiet zwei perennierende Quellen auf, die den Posidonienschichten entstammen (vgl. hierzu Kap. 3.7.2).

Die Quellen befinden sich knapp 600 m östlich von Haimendorf (r = 4969, h = 8201) und ca. 1100 m nordwestlich des Moritzberges (r = 5042, h = 8244). Die im folgenden wiedergegebenen Analysen sind Ergebnis von Beprobungen im Herbst 1977 (vgl. hierzu Analysen Nr. 6502, 6543, 301).

Tab. 33 Chemismus von natürlichen Mineralwasservorkommen im Bearbeitungsgebiet

		Beprobungsnummer 6502	6543 (301)
Temperatur	(°C)	8,9	9,3
Schüttung	(l/s)	0,02	0,01
Leitf.	(mS/m)	189	97,0
pH-Wert		6,98	7,0
Eh-Wert	(mV)	+335	+245
Ca	(mg/l)	374	194
Mg	(mg/l)	96,8	64,3
Na	(mg/l)	11,0	6,4
K	(mg/l)	3,4	6,6
Fe	(mg/l)	0,08	2,3
Mn	(mg/l)	0,05	0,19
HCO_3	(mg/l)	286	386
SO_4	(mg/l)	1060	422
Cl	(mg/l)	18,0	10,0
NO_3	(mg/l)	0,1	0,1
NH_4	(mg/l)	0,1	0,18
PO_4	(mg/l)	0,17	0,13
F	(mg/l)	0,38	0,1
SiO_2	(mg/l)	6,1	6,8
zug.CO_2	(mg/l)	57,0	60,2
Sätt.Ind.	(mg/l)	± 0	± 0
Gesamthärte	°dH	74,6	41,9
Karb.Härte	°dH	13,1	17,7
Summe der gelösten Salze	g/kg	1,850	1,092

Die Quellen stellen demnach fast gesättigte Ca-SO_4-Wässer dar. Nach FRICKE & MICHEL (1967) und FRICKE (1969) liegt ein Ca-SO_4-Wasser bzw. Sulfatwasser dann vor, wenn Ca und in zweiter Linie Mg die Hauptbestandteile der Kationen bilden und die Äquivalente an Hydrogenkarbonat durch Sulfat ersetzt sind.

Ein von URLICHS (1968) und QUENTIN (1970) beschriebenes Vorkommen war gegeben in der heute nicht mehr existenten Isabellenquelle am nordwestlichen Ortsausgang von Rückersdorf. Diese Quelle förderte ein vermutlich mineralarmes, eisenhaltiges Wasser. Der CO_2-Gehalt dieses Wassers war offensichtlich gering, so daß zusätzlich CO_2 beigemengt wurde. Infolge der umfangreichen Bebauung und der Kanalisation in den 50er Jahren ist dort heute der Grundwasserspiegel bis zu 7 m abgesenkt worden, so daß Quellaustritte nicht mehr möglich sind. Weitere Mineralwasservorkommen sind im Bearbeitungsgebiet derzeit nicht erschlossen. Aufgrund der Arbeiten namentlich von BIRZER kann jedoch vermutet werden, daß im tieferen Untergrund etwa ab dem Benker Sandstein, Abt. C, D und sowohl nordöstlich wie nordwestlich des Bearbeitungsgebietes etwa ab den Estherienschichten Mineralwässer (NaCl) erschlossen werden könnten.

11. Grundwassernutzung

11.1 Nutzung durch Brunnen

Dem Bearbeitungsgebiet wurden für die Trink- und Brauchwasserversorgung im Durchschnitt der siebziger Jahre ca. 31 Mio m^3/a bzw. 0,98 m^3/s Grundwasser entnommen (vgl. Abb. 30). Hiervon entstammen ca. 18 Mio m^3 den quartären Grundwasserleitern und 13 Mio m^3 den Grundwasserleitern des Keupers.

Allein bei einem Vergleich der jeweiligen Einzugs- bzw. Verbreiterungsgebiete wird klar, daß die Ergiebigkeit bzw. Grundwasserhöffigkeit des Quartärs erheblich günstiger zu bewerten ist, als die des Keupers: Die Keuperoberfläche bedeckt mehr als 2 Drittel der Fläche des Bearbeitungsgebietes, das Quartär dementsprechend knapp 1 Drittel.

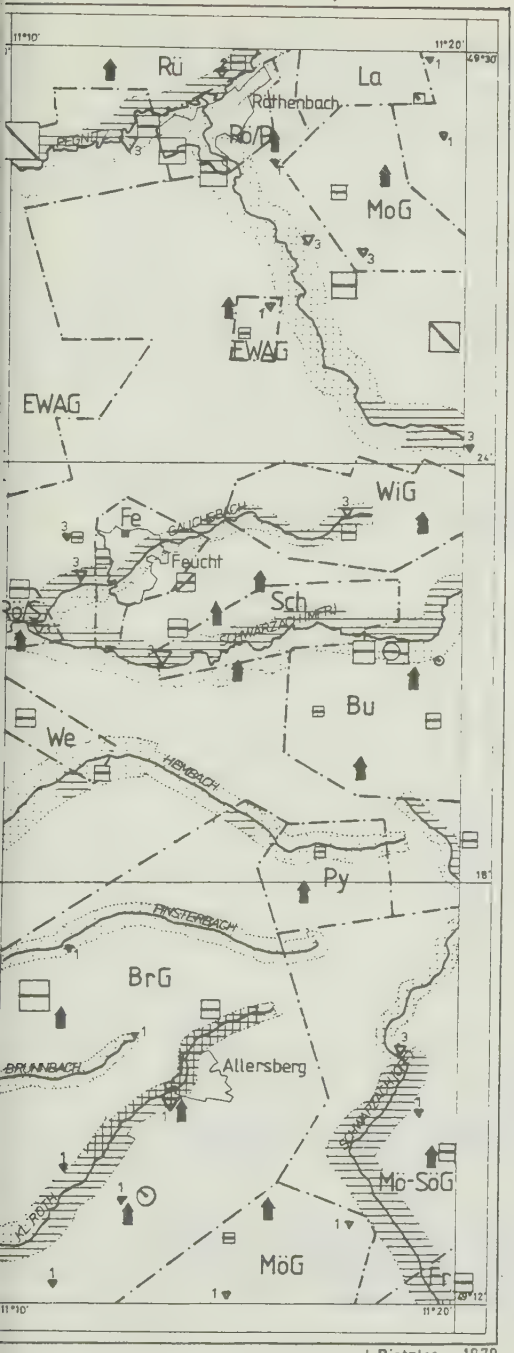
Die erheblichen Unterschiede der Speicherkoeffizienten (vgl. Kap. 2.3.3.2, 3.6.1.2, 4.2.1.5), die größenordnungsgemäß mindestens um den Faktor 100 auseinanderklaffen, zeigen ferner auf, daß gleichartige Grundwasserentnahmemengen einen ungleich höheren Grundwasserabsenkbetrag im Keuper bewirken.

Der Wasserbedarf betrug auf Grund eigener Erhebungen im Jahre 1973 160 l/d·Einwohner und nahm auf 170 l/d·E im Jahre 1977 zu, was einer Steigerung von rund 6 % in diesem Zeitraum entspricht.

30:

SSERWIRTSCHAFTSKARTE

6730 NÜRNBERG (OSTTEIL)



Lab:

J. Rietzler 1979

Genutzte Grundwasservorkommen

Entnahmemengen

Brunnenanlage		Quellen
□	0,01 – 0,05 hm³/Jahr	○
□	0,05 – 0,1 " "	○
□	0,1 – 0,3 " "	○
□	0,3 – 0,5 " "	○
□	0,5 – 1,0 " "	○
□	1,0 – 3,0 " "	○
□	3,0 – 5,0 " "	○
□	5,0 – 10,0 " "	○
□	> 10,0 " "	○

Herkunft des Grundwassers aus:

- Quartär
- Rätsandstein
- Sandsteinkeuper einschließlich Lehrbergschichten
- Benkersandstein

Stammt das Grundwasser aus mehreren Grundwasserleitern, so sind deren Signaturen kombiniert.

Technische Einrichtungen der Wasserwirtschaft (Stand 1978)

Hochbehälter

Kläranlagen:

Ausbau	Einwohnergleichwerte 10^3
▽	< 1,0 EGW
▽	1,0 – 5,0 EGW
▽	5,0 – 10,0 EGW
▽	10,0 – 50,0 EGW
▽	50,0 – 100,0 EGW

Art der Anlage:

1 Erdfaulbecken
2 mechanisch
3 mechanisch-biologisch

Gewässergüte

MNQ der Vorfluter: < 0,1 m³/s — > 0,1 m³/s

Güteklasse	Verschmutzung
II	mäßig
II – III	
III	stark
III – IV	
IV	übermäßig

Gruppenwasserversorgungen

BrG	Brunnbach-Gruppe
Bu	Versorgung der Gemeinde Burgthann (mit Eichenbühl-Gr. und Etzelsdorf-Oberferrieden
EWAG	Stadtwerke Nürnberg
Fe	Versorgung der Gemeinde Feucht
Fr	" " Stadt Freystadt
La	" " " Lauf mit Schönberg
MöG	Mörsdorfer Gruppe
Mö-SöG	Möning-Sondersfelder Gruppe
MoG	Moritzberg-Gruppe
Py	Versorgung der Gemeinde Pyrbaum
Rö/P	" " Stadt Röthenbach/Pegnitz
Rö/S	" " Gemeinde Röthenbach St. Wolfgang
Rü	" " " Rückersdorf
Sch	" " " Schwarzenbruck
We	" " " Wendelstein
WiG	Winkelhaid-Gruppe

Da für den Wasserverbrauch bzw. für die Wasserbedarfsentwicklung des Bearbeitungsgebietes einschlägige und umfassende Arbeiten bestehen (vor allem: Oberste Baubehörde, 1970, 1974; Bayer. Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen 1974, Zweckverband WFW 1978) sei hierauf verwiesen.

11.2 Nutzung durch Quellen

Obwohl im Bearbeitungsgebiet eine große Fülle perennierender Quellen anzutreffen ist, muß deren Schüttung als in der Regel niedrig bezeichnet werden. Lediglich im Schwarzachtal (Mfr.) sind Quellen mit Schüttungen > 5 l/s erschlossen. Folgender Tabelle 34 sind Lage und Ort von Quellen mit Schüttungen > 0,1 hm^3/a entnehmbar.

Tab. 34 Quellen im Bereich der Gradabteilungsblätter 6533 Allersberg, 6633 Feucht und 6733 Röthenbach mit Schüttungen < 0,1 hm^3/a

Beprobungs-Nummer	Ort, Bezeichnung	Rechtswert	Hochwert	Grundwasserleiter	Schüttung (MQ) l/s
	Pattenhofen Q III	4894	6994	kbo	10,0
6643+ 6644+ 6645+ 6646	Quellengruppe Nerreth	4176 4172 4170 4093	6984) 6984) 6977) 6914)	kbm	5,5
6606	Sophienquelle	5104	7032	kol	5,4
6610	Wolfsschlucht	5072	7021	kol	3,8
6722	südl.Göggelsbach, Allersberg	4275	5391	kol	3,5
6630	Schwarzenbachtal, östl. Burgthann	5100	6867	kol	3,3

Ein Verzeichnis aller Quellen des Bearbeitungsgebietes mit entsprechenden Analysen ist dem Anhang "hydrochemische Analysen" beigefügt.

Mit Ausnahme der Quellgruppe Nerreth und der Quelle Pattenhofen III - letztere wird als Notwasserversorgung zeitweilig genutzt - werden alle übrigen aufgeführten Quellen derzeit für die Fischzucht verwendet.

12. Zusammenfassung der Ergebnisse

a) Im Bearbeitungsgebiet stehen die g e o l o g i s c h e n E i n h e i t e n der zumeist sandig ausgebildeten Schichten des Mittleren und Oberen Keupers, der meist tonig ausgebildeten Schichten des Lias, der tonig und sandig ausgebildeten Schichten des Doggers, der Kalke und Dolomite des Malm sowie der Sande und Kiese der quartären Deckschichten oberflächlich an.

Durch mehr als 100 Bohrungen sind ferner die tieferen Schichten des Mittleren Keupers bis hin zu den beiden oberen Abteilungen des Benker Sandsteins erschlossen.

Hohe wasserwirtschaftliche Bedeutung weisen die Schichten des Keupers und Quartärs auf.

Gemäß dem großtektonischen Baustil der Schichten westlich der nördlichen Frankenalb fallen die einzelnen stratigraphischen Einheiten im allgemeinen mit ca. 1° nach Osten ein.

b) Markante Grenze in mehrfacher Hinsicht ist die Ausbißlinie des F e u e r l e t t e n s :

- Durch die Feuerlettenbedeckung ist eine Grundwasserneubildung im Mittleren Keuper auf ein Minimum beschränkt, das von der jeweils geringen vertikalen und lateralen Zusickerung bestimmt wird.
- Die Grundwasserhöhengleichen und z.T. die unterirdische Hauptwasserscheide werden von der Bedekkung beeinflußt.
- Die Feuerlettenüberdeckung bewirkt ferner eine Gliederung des Grundwasserchemismus im Mittleren Keuper.

c) Mehrere z.T. voneinander unabhängige G r u n d w a s s e r s t o c k w e r k e wurden erkannt:

- das Grundwasserstockwerk des Benker Sandsteins, das unabhängig von den Grundwasserstockwerken der Schichten des übrigen Mittleren Keupers ist;
- das Grundwasserstockwerk des ks, der kl, des kbl und des kbu, das in Fenstern verbunden ist mit dem
- Grundwasserstockwerk des kbm, das wiederum mit dem z.T. hangenden Grundwasserstockwerk des kbo und dem Grundwasserspiegel des Quartärs in grober Näherung zusammenfaßbar ist;

- das Grundwasserstockwerk des Rätsandsteins, das in hydraulischem Kontakt mit Sanden und Kalken des unteren Lias steht;
- das selbständige, in den Feuerletten eingebettete Grundwasserstockwerk des Schwarzach (Opf.)-Quartärs.

Als von geringer wasserwirtschaftlicher Bedeutung - sei es durch enge Verbreitungsgrenzen oder nicht aushaltende Vorkommen - sind die Grundwasserstockwerke der Schichten des Jura sowie der Feuerlettensandsteine anzusehen.

d) Die Grundwasserhöhengleichen des k o m p l i z i e r t e n G r u n d w a s s e r s t o c k w e r k s b a u e s weisen generell ein von den Vorflutern abhängiges Grundwassergefälle nach und verlaufen diskordant zu den Schichtflächen. Die Basisletten der einzelnen stratigraphischen Einheiten sind zum großen Teil nicht durchgehend. Grundwasserhydraulische Kontakte bestehen speziell zwischen den Grundwasserleitern des ks, kl, kbl und kbu.

e) In der Regel werden im Bearbeitungsgebiet Mischgrundwässer mehrerer Grundwasserleiter und -stockwerke gefördert. Insgesamt wurden ca. 330 Vollanalysen von Brunnen- und Quellwässern aller stratigraphischen Einheiten erstellt, sowie mehrere Fremdanalysen zur Auswertung herangezogen. Um Tendenzen zur vertikalen Differenzierung des Grundwasserchemismus herausarbeiten zu können, wurden s t a t i s t i s c h e A u s w a h l v e r f a h r e n (Clusteranalyse) angewendet. Ferner wurden - ebenso mit Verfahren der multivariaten Statistik (Korrelations- und Faktorenanalyse) - typische Grundwasserchemismen der einzelnen stratigraphischen Einheiten erfaßt.

f) Nachweisbar sind im Bereich des Mittleren Keupers erdalkalisch-hydrogenkarbonatische Wässer mit Calcium, Magnesium und Hydrogenkarbonat als Hauptbestandteilen (Ausnahme: Mittlerer Burgsandstein). In den Gebieten des nicht bedeckten Keupers liegt ein G r u n d w a s s e r c h e m i s m u s mit niedrigen Härtegraden (1,5-10° dH) und mit niedriger Mineralisation von 55 bis ca. 250 mg/l vor. Im Bereich des bedeckten Keupers beträgt die Mineralisation der Grundwässer des Mittleren Keupers bis zu 480 mg/l bei Gesamthärten bis zu 14 °dH. Mit zunehmender Teufe ist ferner eine geringfügige Abnahme der Wasserhärten feststellbar.

Im Bereich des Sandsteinkeupers, vor allem im Mittleren und Oberen Burgsandstein, aber auch noch im Blasensandstein, sind spürbare menschlich bedingte Einflüsse durch die Ionen Natrium, Chlorid, Sulfat und Nitrat nachweisbar.

Auffallend sind primär bedingte eisen- und mangan-reiche ESE-WNW-streichende Zonen im Sandsteinkeuper, die mit scharfen Begrenzungen den Grundwasserchemismus des Bearbeitungsgebietes prägen.

Die Grundwässer der jüngeren Schichtglieder, des Räts sowie des Juras, weisen in der Regel höhere Gesamthärten mit Härtegraden um 16 °dH auf. In den Bereichen des Oberen Keupers und unteren Juras ist ein deutlicher anthropogener Einfluß auf den jeweiligen Grundwasserchemismus erkennbar.

g) Die Grundwasserspiegel der Sandsteine des Mittleren Keupers sind nahezu ausnahmslos als Druckspiegel ausgebildet.

Die g r u n d w a s s e r h y d r a u l i s c h e A u s w e r t u n g von Pumpversuchen an insgesamt 98 Tiefbrunnen zur Ermittlung der Permeabilitäten als Ausdruck der Gebirgsdurchlässigkeit ergab folgende Werte:

Durchschnitt der k-Werte	$1{,}5 \cdot 10^{-5}$ (m/s)
Maximalwert	$3{,}9 \cdot 10^{-5}$ (m/s)
Minimalwert	$2{,}0 \cdot 10^{-6}$ (m/s)

Die k-Wert-Berechnung wies mit unterschiedlichen Rechenverfahren gleichartige Ergebnisse nach.

Von entscheidender Bedeutung für die Grundwasserergiebigkeit ist das Vorhandensein eines dränbaren Porenraumes. Diese Aussage wird sowohl von hydrochemischen wie grundwasserhydraulischen Argumenten belegt.

Eine Grundwasserförderung findet sowohl durch den Porenraum wie an Schicht- und Kluftfugen statt.

An Bohrkernen ermittelte Porendurchlässigkeiten der Keupersandsteine ergaben folgende Durchlässigkeitsbeiwerte:

Durchschnitt der k-Werte	$7{,}9 \cdot 10^{-6}$ (m/s)
Maximalwert	$1{,}9 \cdot 10^{-4}$ (m/s)
Minimalwert	$3{,}8 \cdot 10^{-7}$ (m/s)

Der Unterschied der k-Werte beträgt bei den Porendurchlässigkeiten ca. 3 Zehnerpotenzen, bei der Gebirgsdurchlässigkeit ca. 1 Zehnerpotenz.

Nicht gleichgesetzt werden dürfen die großen Unterschiede der einzelnen Porendurchlässigkeiten mit dem anisotropen Verhalten der Sandsteine. Die horizontale Durchlässigkeit ist um den Faktor 3,2 günstiger zu bewerten als die vertikale Durchlässigkeit.

Im Vergleich zu den allseits benachbarten Gebieten des Mittleren Keupers weisen die festgestellten mittleren spezifischen Ergiebigkeiten überdurchschnittlich hohe Werte um 0,9 l/s·m auf. Die Schwankungen betragen 0,18 bis 3,71 l/s·m.

Die Bestimmung der Transmissivität ergab Werte um $1{,}0 \cdot 10^{-3}$ (m^2/s).

Der dimensionslose Speicherkoeffizient, der nur aus wenigen Pumpversuchen ermittelt werden konnte, beträgt um $4{,}8 \cdot 10^{-4}$ und ist ein weiterer Hinweis für den Druckspiegel des Mittleren Keupers.

h) Neben fluviatilen quartären Terrassenkiesen und -sanden treten im Bearbeitungsgebiet mehrere, mit homogenen Flugsanden verfüllte, bis zu 50 m tiefe pleistozäne Rinnen auf. Beide Arten von Grundwasserleitern weisen hohe Ergiebigkeiten sowie ein hohes Grundwasserspeichervermögen auf. Folgende Kenndaten wurden ermittelt:

fluviatile Bildungen:

	Durchschnitt	Max.	Min.
k-Wert (m/s)	$8{,}7 \cdot 10^{-4}$	$3{,}5 \cdot 10^{-3}$	$6{,}6 \cdot 10^{-5}$
nutzbares Porenvolumen	ca. 14 %		

Flugsande:

k-Wert (m/s)	$6{,}0 \cdot 10^{-4}$	$7{,}9 \cdot 10^{-4}$	$4{,}2 \cdot 10^{-4}$
nutzbares Porenvolumen	ca. 13 %		

Auf Grund der unterschiedlichen Durchlässigkeiten des Keupers und Quartärs ist bei gleichartigen Grundwasserentnahmebeträgen mit ungleich höheren Absenkungen im Keuper zu rechnen.

Im Bereich der Flugsande ist derzeit ein nicht genutztes Grundwasserspeichervorkommen von $1{,}7 \cdot 10^7 m^3$ vorhanden.

i) Wie aus den hydrochemischen Aufnahmen der Keupergrundwässer nachweisbar ist, findet eine Grundwasserneubildung im nicht bedeckten Keuper bis in die tieferen Grundwasserhorizonte hinein zumeist an Ort und Stelle statt und wird wenig durch die Basisletten der einzelnen stratigraphischen Einheiten behindert (s.o.).

Die mittleren Grundwasserneubildungsraten betragen (Auswertung nach WUNDT, ohne Berücksichtigung der Pegnitz) 2,18 bis 5,3 $l/s \cdot km^2$ sowie im Einzugsgebiet der Pegnitz ca. 7,0 $l/s \cdot km^2$. Die mittleren kleinsten Grundwasserneubildungsraten sind mit 1,20 bis 4,0 $l/s \cdot km^2$ und mit ca. 5,5 $l/s \cdot km^2$ im Einzugsbereich der Pegnitz zu veranschlagen. Bei diesen Werten ist nicht die künstliche Grundwasserentnahme berücksichtigt.

Ein Großteil der geförderten Grundwässer wird aus dem Bearbeitungsgebiet geleitet und gelangt nicht in die zugehörigen Vorfluter. Dementsprechend kann ein Defizit am mittleren Abfluß der betroffenen Gewässer festgestellt werden.

Die Grundwasserneubildung im Bereich der Rätsandsteine beträgt ca. 3,7 $l/s \cdot km^2$.

j) Grundwasserspiegelschwankungen können im Bereich der Flugsande bis zu 6 m, im Bereich der quartären Kies- und Sandterrassen bis zu 1,5 m und im Bereich des Keupers bis zu 4,8 m betragen.

k) Hydrogeochemische Auswertungen in Bezug auf die Uranführung der Keupergrundwässer zeigen, daß im Bereich des bedeckten Keupers erhöhte Urangehalte nachweisbar sind.

l) Ein Einfluß von umweltbedingten Schwermetallen auf das Grundwasser ist durch das Element Blei in Verbindung mit durch Salzstreuung hervorgerufenen NaCl-Einträgen gegeben.

13. Literaturverzeichnis

ABELE, G. & BERGER, K. & SALGER, M. (1962): Die Uranvorkommen im Burgsandstein Mittelfrankens. - Geologica Bavarica, 49, S. 3 - 90, München.

ANDRES, G. & GEYH, M.A. (1970): Untersuchungen über den Grundwasserhaushalt im überdeckten Sandsteinkeuper mit Hilfe der ^{14}C- und ^{3}H- Wasseranalysen. - Die Wasserwirtschaft, 60, H. 8, S. 259 - 263, 2 Abb., 1 Taf., Stuttgart.

- (1972): Paläohydrologische Studien mit Hilfe von ^{14}C über den pleistozänen Grundwasserhaushalt in Mitteleuropa. - Die Naturwissenschaften, 59 , H. 9, S. 418 - 420, 1 Abb., Berlin.

BAYER. L.A. f. WASSERWIRTSCHAFT (1978): Das Mainprojekt. Hydrogeologische Studien zum Grundwasserhaushalt und zur Stoffbilanz im Maineinzugsgebiet. - H. 7, 315 S., München.

BAYER. STAATSMINISTERIUM f. LANDESENTWICKLUNG u. UMWELTFRAGEN (1974): Wasserwirtschaftlicher Rahmenplan Regnitz. - Bd. I, II, mit Beiträgen von BIRZER F. zur Geologie (1968), zur Hydrogeologie (1968), zur Grundwasseranreicherung (1969) und zur geologischen Beurteilung von Talsperren (1969), München.

BENTZ, A. & MARTINI, H. (1969): Lehrbuch der angewandten Geologie. - Bd. II, Geowissenschaftliche Methoden, Stuttgart (Enke).

BERGER, K. (1951): Die Dünen im Raum von Nürnberg und Erlangen. - Geol. Bl. NO - Bayern, 1 , S. 70 - 74, Erlangen.

- (1965): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1 : 25 000, Bl. 6731 Abenberg. - München (Bayer. Geol. LA).

- (1967): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1 : 25 000, Bl. 6732 Roth bei Nürnberg. - München (Bayer. Geol. LA).

- (1969): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1 : 25 000, Bl. 6733 Allersberg. - München (Bayer. Geol. LA).

- (1970): Neue Bohrungen im Mittleren Keuper bei Buchschwabach, Lkr. Fürth und ihr Vergleich mit benachbarten Bohrungen im Gebiet von Roßtal/Mittelfranken. - Geol. Bl. NO Bayern, 20, S. 70 - 78, Erlangen.

- (1978): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1 : 50 000, Nürnberg - Fürth - Erlangen und Umgebung. - München (Bayer. Geol. LA).

BERGLER, H. (1937): Geologische Untersuchungen an der Keuper - Lias - Grenze im Gebiete zwischen Weißenburg und Allersberg. - Diss. F. - A. - Universität Erlangen (Masch.-Schrift).

BERGMANN, H. & SEILER, K.-P. (1971): Hydrometrische und radiohydrometrische Untersuchungen an einem Entnahme- und einem Schluckbrunnen im klüftig-porösen Burg- und Blasensandstein von Erlangen - Bruck. - Geologica Bavarica, 64, S. 197 - 209, München.

BEYER, W. (1964): Zur Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit von Kiesen und Sanden aus der Kornverteilungskurve. - Wasserwirtschaft - Wassertechnik, H. 6, S. 165 - 168, Stuttgart.

BIESKE, E. (1965): Nold Brunnenfilter - Buch. - 222 S., Stockstadt.

BIRZER, F. (1936): Zur jungdiluvialen Aufschüttung im Rednitzgebiet. - Sonderabdruck aus den Sitz.-Ber. der Phys. - med. Soz. zu Erlangen, 67, S. 247 - 262, Erlangen.

- (1957): Begrabene Talstücke der Pegnitz und Rednitz im Stadtgebiet von Nürnberg und Fürth. - Geol. Bl. NO - Bayern, 7, S. 98 - 115, Erlangen.

- (1958): Bohrprofile aus dem Keuper im südlichen Franken und der angrenzenden Oberpfalz. - Erlanger Geol. Abh., H. 26, 24 S., 6 Abb., Erlangen.

- (1968a): Die Tiefbrunnen der Stadt Altdorf. - Geol. Bl. NO - Bayern, 18, S. 181 - 185, Erlangen.

- (1968b): Geologie. - Wasserwirtschaftlicher Rahmenplan Regnitz, Bd. I, S. 118 - 125, München.

- (1969): Nutzbares Grundwasserdargebot. - Wasserwirtschaftlicher Rahmenplan Regnitz, Bd. I, S. 49 - 52, München.

- (1971): Ein weiterer Nachweis der Rednitztal - Störung.- Geol. Bl. NO - Bayern, 21, S. 207 - 214, Erlangen.

- (1974): Der Mineralwasserspiegel im Sandsteinkeuper des Gebietes zwischen Pegnitz und Schwabach. - Geol. Bl. NO - Bayern, 24, H. I/II, S. 148 - 156, Erlangen.

- (1977): Drei neue Tiefbrunnen der Stadt Fürth zwischen Roth bei Nürnberg und Allersberg. - Geol. Bl. NO - Bayern, 27, H. III/IV, S. 187 - 193, Erlangen.

- (1978): Zwei neue Tiefbrunnen der Stadt Lauf a.d. Pegnitz. - Geol.Bl. NO - Bayern, 28, H. II/III, S. 165 - 169, Erlangen.

BIRZER, F. & HILMER, K. (1975): Die Grundwasserverhältnisse beim U - Bahn - Bau in Nürnberg. - Geol.Bl. NO - Bayern, 25, H. II/III, S. 65 - 79, Erlangen.

BÖGLI, A. (1964): Mischungskorrosion - ein Beitrag zum Verkarstungsproblem. Erdkunde, 18, S. 83 - 92,

- (1964): Die Kalkkorrosion - das zentrale Problem der unterirdischen Verkarstung. - Steyr. Beitr. zur Hydrogeologie, 15/16, S. 75 - 90, Graz.

BREYER, F. (1956): Ergebnisse seismischer Messungen auf der süddeutschen Großscholle besonders im Hinblick auf die Oberfläche des Varistikums. - Z. deutsch. Geol. Ges. 108, S. 21 - 36, Hannover.

- (1972): Versuche zur geologischen Erkundung des Untergrundes in Mittel- und Oberfranken mittels gravimetrischer und seismischer Messungen. - Z. deutsch. Geol. Ges., 123, S. 235 - 258, 15 Abb., 5 Tab., Hannover.

BRUNNACKER, K. (1955): Die Böden der Terrassen- und der Flugsande im Regnitztal. - Geol. Bl. NO - Bayern, 5, S. 71 - 77, Erlangen.

- (1967): Einige Schotteranalysen aus dem Urmaintal zwischen Schwabach und Treuchtlingen. - Geol. Bl. NO - Bayern, 17, S. 92 - 99, Erlangen.

BURRE, O. (1960): Untersuchungen über die Berechnung der dem Grundwasser von den Niederschlägen zugehenden Wassermengen aus den Bewegungen des Grundwasserspiegels. - Abh. Hess. LA Bodenforschung, 30, 68 S., 1 Abb., 8 Tab., 5 Taf., Wiesbaden.

CARLÉ, W. (1955): Bau und Entwicklung der südwestdeutschen Großscholle. - Bei. Geol. Jb., 16, Hannover.

CORRENS, C.W. (1968): Einführung in die Mineralogie (Kristallographie und Petrologie). - Springer Verlag, 2. Aufl., Berlin.

DARCY, H. (1856): Les fontaines public de la ville de Dijon. - Dalmont, 647 S., Paris.

DAVIES, J.C. (1973): Statistics and Data Analysis in Geology. - J. Wiley & Sons Inc., 550 S., New York.

DIESEL, E. (1963): Die Grundwasserbeschaffenheit im linksrheinischen Kölner Wirtschaftsraum. - Min. f. Ernährung, Landwirtschaft und Forsten des Landes NRW, Düsseldorf.

DIN 4023 (1975): Baugrund- und Wasserbohrungen. Zeichnerische Darstellung der Ergebnisse. - 8 S., 2 Abb., 5 Tab., Berlin.

DIN 4049 (1954): Gewässerkunde, Fachausdrücke und Begriffsbestimmungen. Bl.1, Teil I: quantitativ. - 26 S., 10 Abb., 1 Taf., Berlin.

DIN 4049 (1977): Teil 22 - Entwurf: Hydrologie. Begriffe, quantitativ. - 35 S., 8 Abb., Berlin.

DOBNER, A. (1975): Der Porenraum und die Permeabilität oberfränkischer Sandsteine. - Inaug. - Diss. LMU München (Fotodruck).

DÜRBAUM, H.-J. (1968): Zur Auswertung hydrologischer Pumpversuche. - Bbr, 19, H. 12, S. 427 - 433, 4 Abb., 4 Tab., Köln.

- (1969): Der Durchlässigkeitsbeiwert von Lockergesteinen und seine Bestimmung. - Kap. 6.11 in RICHTER, W. & WAGER, R.: Hydrogeologie in BENTZ, A. & MARTINI H.: Lehrbuch der Angew. Geologie, Bd. II/2, Stuttgart (Enke).

DÜRBAUM, H.-J. & MATTHES, G. & RAMBOW, D. (1969): Untersuchungen der Gesteins- und Gebirgsdurchlässigkeit des Buntsandsteins in Nordhessen. - Notizbl. hess. LA f. Bodenforsch., 97, S. 258 - 274, 10 Abb., 4 Tab., Wiesbaden.

EMMERT, U. (1964): Keuper. - in Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1 : 500 000, 2. Aufl., S. 91 - 120, München (Bayer. Geol. LA).

FICKENSCHER, K. (1911): Die geologischen Verhältnisse von Nürnberg in Vergangenheit und Gegenwart. - 23 S., 2 Abb., Nürnberg.

- (1924): Geologische Verhältnisse und Entstehungsgeschichte der Landschaftsbilder um Nürnberg. - 63 S., 21 Abb., 7 Prof., Nürnberg (Marek).

FLEMMING, H.W. (1962): Unterirdische Wasserspeicherung. - GWF, 10, 79 S., München (Oldenbourg).

FÖRSTNER, U. & MÜLLER, G. (1974): Schwermetalle in Flüssen und Seen als Ausdruck der Umweltverschmutzung. - 1. Aufl., Heidelberg (Springer).

FREYBERG, B. v. (1936): Die Randfazies des Mittleren Keupers in Mittelfranken (Auswertung von Tiefbohrungen). - S. - B. Phys. - med. Soz., 67, S. 167 - 246, Erlangen.

- (1954): Die Randfazies des Gipskeupers, insbesondere des Benker Sandsteines in Franken. - Erl. Geol. Abh., 11, S. 1 - 47, Erlangen.

- (1965): Cyklen und stratigraphische Einheiten im Mittleren Keuper Nordbayerns. - Geologica Bavarica, 55, S. 130 - 145, München.

- (1969): Tektonische Karte der Fränkischen Alb und ihrer Umgebung. - Erlanger Geol. Abh., S. 1 - 81, H. 77, Erlangen.

FRICKE, K.(1969): Nomenklatur, Begriffsbestimmungen und Sonderstatus der Heil- und Mineralwässer. - Sonderdruck aus "Der Naturbrunnen", 12, 7 S., Krefeld.

FRICKE, K. & MICHEL, G. (1967): Das Mineralwasservorkommen des Steinbronns in Löhne, Kreis Herford - ein Beispiel für ein genutztes Calcium - Sulfat - Wasser -. - Sonderdruck aus Bbr, 11, 6 S., Berlin.

FUCHS, B. (1957): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1 : 25 000, Bl. 6632 Schwabach. - München (Bayer. Geol. LA).

- (1959): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1 : 25 000, Bl. 6631 Roßtal. - München (Bayer. Geol. LA).

GARRELS, R.M. (1960): Mineral Equilibria at Low Temperature and Pressure. - New York (Harper).

GARRELS, R.M. & CHRIST, Ch.L. (1965): Solutions, Mineral and Equilibria. - New York (Harper).

GEHLEN. K.v. (1956): Sekundär hydrothermale Mineralisation im Burgsandstein des Wendelsteiner Höhenzuges bei Nürnberg. - Geol. Bl. NO - Bayern, 6, S. 11 - 21, Erlangen.

GEOLOGISCHES JAHRBUCH (1977): Zusammenfassung jüngerer Veröffentlichungen zum Thema der Grundwasserneubildung. - Reihe C, H. 19, Hannover.

GERB, L. (1958): Grundwassertypen. - Vom Wasser, Jb. Wasserchem. und Wasserreinigungstechnik, 25, S. 16 - 47, Weinheim (Verl. Chemie).

GOLWER, A. et al (1976): Belastung und Verunreinigung des Grundwassers durch feste Abfallstoffe. - Abh. hess. LA Bodenforschung, 73, 131 S., 23 Abb., 34 Taf., Wiesbaden.

- (1978): Die Auswirkungen von Straßenverkehr auf das Grundwasser. - Vortrag 11. Essener Tagung, Essen.

GRAHMANN, R. (1958): Die Grundwässer in der Bundesrepublik Deutschland und ihre Nutzung. - Forsch. zur deutsch. Landeskde., 105, 198 S., Remagen.

GRIMM, W.-D. (1964): Ausfällung von Kieselsäure in salinar beeinflußten Sedimenten. - Z. deutsch. Geol. Ges., 114, 3. Teil, S. 590 - 619, 13 Abb., 2 Taf., Hannover.

- (1969): Hydrogeologische Kartierungen im Raum Nürnberg . - Z. deutsch Geol. Ges., 118, S. 308 - 332, Hannover.

GRIMM, W.-D. & HOFBAUER, J. (1966): Die Profilserien der Grundwasserkarten von Bayern 1 : 25 000 erläutert am Beispiel von Bl. Nürnberg 6532. - Geol. Mitt., 6, S. 115 - 158, Aachen.

- , - (1967): Die Grundwasserkarte von Bayern 1 : 25 000. - Dt. Gewässerkundl. Mitt., Sonderh., S. 113 - 128, Koblenz.

GRONEMEIER, K. (1976): Qualitativer und quantitaiver Nachweis von Umwelteinflüssen auf das Grundwasser im Luxemburger Sandstein. - Z. dt. Geol. Ges., 127, S. 11 - 35, Hannover.

GÜMBEL, C.W. v. (1888): Kurze Erläuterungen zu dem Blatte Neumarkt (Nr. 15) der geognostischen Karte des Königreichs Bayern (1 : 100 000). - 50 S., 1 Geol. Kt., Cassel (Fischer).

HAARLÄNDER, W. (1955): Geologie des Bl. Röttenbach. - Erl. Geol. Abh., 13, Erlangen.

- (1959): Das Vorkommen von Eisensandstein am Moritzberg bei Nürnberg. Ein Bericht aus dem Jahre 1857. - Geol. Bl. NO - Bayern, 9, S. 194 - 207, Erlangen.

HÄSSELBARTH, U. (1963): Das Kalk - Kohlensäure - Gleichgewicht in natürlichen Wässern unter Berücksichtigung des Eigen- und Fremdelektrolyt - Einflusses. - GWF, 104, H. 4, S. 89 - 93, H. 6, S. 157 - 160, H. 18, S. 506 - 512, München.

HAUNSCHILD, H. (1977): Neue Aufschlüsse aus dem Verbreitungsgebiet von Rinnenbildung im Schilfsandstein von Mittelfranken. - Geol. Bl. NO - Bayern, 27, S. 1 - 9, H. 1, Erlangen.

- (1978): Die Autobahnneubaustrecke Ansbach - Heilbronn zwischen der Landesgrenze und der B 25 (Westfranken) in geologischer Sicht (TK 25; Nr. 6726 und 6727). - Geol. Bl. NO - Bayern, 28, H. 2/3, S. 147 - 158, 3 Abb., 2 Tab., Erlangen.

HAUNSCHILD, H. & HÖRAUF, H. & SALGER M. (1977): Hydrogeologische, geologische und sedimentologische Untersuchungen am Bohrbrunnen Gersbach VII (Wasserversorgung der Stadt Ansbach). - Geol. Bl. NO - Bayern, 27, H. 2, S. 97 - 114, Erlangen.

HEM, J.D. (1970): Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water. - U.S. geol. Surv., Water Supply Paper, 1473, 2 edit., 363 S., 51 Abb., 29 Taf., Washington.

HERTH, W. & ARNDTS E. (1973): Theorie und Praxis der Grundwasserabsenkung . - 1. Aufl., Berlin (W. Ernst & Sohn).

HÖRAUF, H. (1959): Zur Stratigraphie und Paläographie des Doggersandsteins in der Fränk. Alb. - Erl. Geol. Abh., 30, 68 S., 12 Abb., Erlangen.

JACOB, C.E. (1940): On the Flow of Water in an elastic artesion Aquifer. - Trans. Amer. Geophys. Union, 21, S. 574 - 586, Washington.

- (1950): Flow of Groundwater in engeneering Hydraulics. - S. 321 - 386, New York, (H. Rouse, ed., Wiley).

JACOB, C.E. & COOPER, H.H. (1946): A generalized graphical Method for evaluating Formation Constants and summarizing Well Field History. - Trans. Amer. Geophys. Union, 27, S. 526 - 534, Washington.

KERN, H. (1954): Niederschlags-, Verdunstungs- und Abflußkarten von Bayern (Jahresmittel 1901 - 1951). - Veröff. Bayer. Landesstelle Gewässerk., 12 S., 4 Kt., München.

KILLE, K. (1970): Das Verfahren MoMNQ, ein Beitrag zur Berechnung der mittleren langjährigen Grundwasserneubildung mit Hilfe der monatlichen Niedrigwasserabflüsse. - Z. deutsch. Geol. Ges., Sonderh. Hydrogeol. Hydrogeochem., S. 89 - 95, Hannover.

KRAUSPE, A. (1970): Die Grundwässer des Mittleren Keupers und Quartärs im westlichen Mittelfranken. - Diss. F.U. Berlin, 204 S. Berlin.

KRUMBECK, L. (1932): Zur Stratigraphie des Lias in Nordbayern. - N. Jb. Mineral. Geol. Paläontol., 69, Beil. - Bd. Abt. B, S. 1 - 126, 1 Tab., 1 Taf., Stuttgart.

LANGGUTH, H. R. (1966): Die Grundwasserverhältnisse im Bereich des Velberter Sattels (Rheinisches Schiefergebirge). - Min. f Ern.,Landwirtsch. undForsten, NRW, 127 S., 8 Abb., 23 Diagr.,14 Tab., 4Taf., Düsseldorf.

LIMPRICH, H. (1970): Berechnung der Grundwasserneubildung und des nutzbaren Grund- und Oberflächendargebotes für die wasserwirtschaftliche Rahmenplanung. - Z. deutsch. Geol. Ges., Sonderh. Hydrogeol. Hydrogeochem., S. 69 - 88, Hannover.

LÖHNERT, E. (1970): Grundwasserchemismus und Kationenaustausch im norddeutschen Flachland. - Z. deutsch Geol. Ges., Sonderh. Hydrogeol. Hydrogeochem., S. 139 - 159. 9 Abb., 1 Tab., Hannover.

LOGAN, J. (1964): Estimating Transmissibility from Routine Production Tests of Water Wells. - Groundwater, 2, Nr. 1, S. 35 - 37 Amsterdam.

LOHR, A. (1967): Beitrag zur Interpretation des Pumpversuches als instationärer Vorgang. - GWF, 108, H. 26, S. 725 - 733, 4 Abb., München.

- (1971): Der Pumpversuch unter Berücksichtigung des Parameters Zeit und der Anisotropie des Grundwasserleiters.- Geologica Bavarica, 64, S. 210 - 225, München.

LUDEWIG, M. (1967): Untersuchunen über die Gültigkeitsgrenzen des DARCY'schen Gesetzes bei Sanden und Kiesen. - Wiss. Z. der Hochschule für Bauwesen, Leipzig, H. 3, Leipzig.

LÜHR, H.-P. & ZIPFEL, K. (1975): Grundwassermodelle und ihr praktischer Einsatz. - DVGW Schriftenreihe Wasser Nr. 9, 146 S., Eschborn.

MAECKELBURG, D. (1965): Entstehung, Ausbreitung und Reichweite des Senktrichters eines Vertikalbrunnens bei freiem Grundwasserspiegel. - Die Wasserwirtschaft, H. 1, Stuttgart.

MAROTZ, G. (1968): Technische Grundlagen einer Wasserspeicherung im natürlichen Untergrund. - Mitt. Inst. f. Wasserwirtschaft, Grundbau und Wasserbau der Universität Stuttgart, H. 9, 228 S., 96 Abb., 14 Tab., Stuttgart.

MATTHESS, G. (1962): Sulfat - Gehalt im Grundwasser. - GWF, S. 348, München.

- (1973): Die Beschaffenheit des Grundwassers. - 324 S., 89 Abb., 86 Tab., Berlin (Borntraeger).

MAUCHER, A. (1962): Die Lagerstätten des Urans. - Die Wissenschaft Bd. 119, Braunschweig (Vieweg & Sohn).

MEIER, G. (1969): Das Grundwasser in den Lockersedimenten Ostniederbayerns. - Inaug. Diss. LMU München, München (Fotodruck).

MERCK AG (1974): Die Untersuchung von Wasser. - 224 S., 9, Darmstadt.

MISEREZ, J.J. (1970): Corrélations Na/K dans les eaux karstiques du Jura Applivations aux diagrammes d' équilibre des systèmes. - Z. deutsch. Geol. Ges. Sonderh., Hydrogeol. Hydrogeochem., S. 161 - 181, Hannover.

MÜLLER, W. (1970): Die hydrologischen Verhältnisse im Mittleren Keuper südlich Nürnberg (Mittelfranken). - Diss. LMU München, München, (Fotodruck).

MUTSCHMANN, J. & STIMMELMAYR, F. (1967): Taschenbuch der Wasserversorgung. - 847 S., 494 Abb., 3 Bildtaf., 320 Zahlentaf., Stuttgart (Franckh).

NATERMANN, F. (1951): Die Linie des langjährigen Grundwassers und die Trockenwetterabflußlinie (TWL). - Die Wasserwirtschaft, 41, Sonderh., Vort. Tag. gewässerk. Anst., 13./14.9.1950 in München, S. 12 - 14, Stuttgart.

- (1958): Der Wasserhaushalt des oberen Emsgebietes nach dem A_U - Linien - Verfahren. - Min. f. Ernährung, Landwirtschaft und Forsten NRW, 44 S., 20 Abb., 15 Taf., Düsseldorf.

OBERSTE BAUBEHÖRDE im BAYER. STAATSMIN. d. INNERN, München (1970): Trinkwasserversorgung in Bayern. - H.3, München.

- (1974): Wasserwirtschaft in Bayern, Grundwassererkundung in Bayern, München.

POLL, K.G. (1974): Ergebnisse der Erlanger Quartär Arbeiten im Regnitztal zwischen Nürnberg und Bamberg. - Nachr. deutsch. Geol. Ges., 10, S. 28 - 36, Hannover.

- (1978): In: Das Mainprojekt; Hydrogeologische Studien zum Grundwasserhaushalt und zur Stoffbilanz im Maineinzugsgebiet. - Bayer. LA f. Wasserwirtschaft, H. 7, S. 50 - 65, München.

POLL, K.G. & SCHRÖDER, B. (1971): Zum Alter der Regnitz - Oberterrasse nach Aufschlüssen in Alterlangen/Mittelfranken. - Geol. Bl. NO - Bayern, 21, S. 171 - 178, Erlangen.

POLL, K.G. & WEICKEN, H.M. (1976): Quartäruntersuchungen im Bereich der Regnitz Oberterrasse in Erlangen - West/Mittelfranken. - Geol. Bl. NO - Bayern, 26, S. 25 - 46, Erlangen.

QUENTIN, K.-E. (1970): Die Heil- und Mineralquellen Nordbayerns.- Geologica Bavarica, 62, 312 S., 1 Beil., München.

RADIG, F. & REICHEL, B. (1978): Hydrologische Untersuchungen an der Sophien - Quelle bei Grünsberg (Lkr. Nürnberger Land). - Geol. Bl. NO - Bayern, 28, S. 129 - 135, 7 Abb., 1 Tab., Erlangen.

REICHEL, B. (1977): Zwei Tiefbrunnen im Schwarzachtal zwischen Ochenbruck und Burgthann. - Geol. Bl. NO - Bayern, 27, Erlangen.

RICHTER, W. & LILLICH, W. (1975): Abriß der Hydrogeologie. - 281 S., 96 Abb., 18 Tab., Stuttgart (Schweizerbart).

RIETZLER, H. (1978): Die Tiefbrunnen der Marktgemeinde Feucht/Mfr unter besonderer Berücksichtigung des Brunnens V.- Geol. Bl. NO - Bayern, 28, H. 1, S. 55 - 59, Erlangen.

ROETGEN, WASSERLABORATORIEN TH AACHEN, (1978): Untersuchungen zur Remobilisierung von Spurenelementen in Rheinsedimenten. - Vortrag 11. Essener Tagung, Essen.

RÜCKERT, L. (1933): Zur Flußgeschichte und Morphologie des Rednitzgebietes. - Sitz.-Ber. Phys.-med. Soz. Erlangen, 63/64, S. 371 - 424, Erlangen.

SALGER, M. (1959): Mineralbestand von Tonen des Fränkischen Keuper und Jura. - Geologica Bavarica, 39, S. 69 - 95, München.

SCHEFFER, F. & SCHACHTSCHABEL, P. (1966): Lehrbuch der Bodenkunde. - 6. Aufl., 473 S., Stuttgart (Enke).

SCHMIDT-KALER, H. (1977): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1 : 25 000, Bl. 6534 Happurg. - München (Bayer. Geol. LA).

SCHRIFTENREIHE der BAYER. LANDESSTELLE für GEW.-KDE., München (1975): Mittlere jährliche Abflußhöhen; Mittlere jährliche Verdunstungshöhen; Mittlere jährliche Niederschlagshöhen; jeweils 1931 - 1960; Erläuterungen mit Karten. - München.

SCHRÖDER, B. (1970): Wasserbohrung Feucht I als Beispiel für Gliederungsmöglichkeiten randnahen Keupers. - Geol. Bl. NO - Bayern, 20, S. 216 - 222, Erlangen.

- (1972): Zur Stratigraphie des höheren Gipskeupers im östlichen Süddeutschland. - Z. deutsch. Geol. Ges., 123, S. 215 - 228, Hannover.

SCHROLL, E. (1975): Analytische Geochemie, Bd. I, Methodik, 292 S., 96 Abb., 56 Tab., Bd. II, Grundlagen und Anwendungen, 374 S., 126 Abb., 79 Tab., Stuttgart (Enke).

SCHULZ, H.D. (1977): Die Grundwasserbeschaffenheit in der Geest Schleswig Holsteins - Eine stat. Auswertung. - Bes. Mitt. Z. Dt. Gewässerkundl. Jb., 40, 141 S., Kiel.

SCHWILLE, F. (1954): Ionenumtausch und Chemismus von Grund- und Mineralwässern. - Z. deutsch. Geol. Ges., 106, S. 16 - 22, 2 Abb., 1 Tab., Stuttgart.

SEILER, K.-P. (1975): Nutzbares Hohlraumvolumen, auffüllbares Hohlraumvolumen und Speicherkoeffizient. - Bbr, 26, S. 363 - 365, Berlin.

SIEBENHÜNER, M. (1967): Zur jüngeren Tektonik Frankens (Strukturuntersuchungen zwischen Main und Ries). - Inaug. Diss. Universität Würzburg, Würzburg (fotodruck).

SPÖKER, R.G. (1964): Der Untergrund von Nürnberg. - 136 S., Nürnberg (Spindler).

STAHL, W. (1930): Geologische Untersuchungen zwischen unterer Pegnitz und Schwarzach. - Sitz.Ber. Phys.-med. Soz. Erlangen, 61, S. 93 - 202, Erlangen.

STRECK, O. (1956): Grund- und Wasserbau in praktischen Beispielen.- Bd. 1, 2. Aufl., 416 S., 251 Abb., Heidelberg (Springer).

THEIS, C.V. (1935): The Relation between the Lowering of the Piezometric Surface and the Rate and Duration of Discharge of Well Using Ground Water Storage. - Trans. Amer. Geophys. Union, 16, S. 513 - 524, Washington.

THÜRACH, H. (1888, 1889): Übersicht über die Gliederung des Keupers im nördlichen Franken. - Geogn. Jh.,1, S. 75 - 162, 2, S. 1 - 90, Cassel.

TILLMANNS, W. (1977): Zur Geschichte von Urmain und Urdonau zwischen Bamberg, Neuburg/Donau und Regensburg. - Sonderveröff. Geol. Inst. Universität Köln, 30, 198 S., 1 Abb., 4 Tab., 7 Beil., Köln.

UDLUFT, P. (1972): Bestimmung des entwässerbaren Kluftraumes mit Hilfe des Austrocknungskoeffizienten nach MAILLET, dargestellt am Einzugsgebiet der Lohr (NE Spessart). - Z. deutsch. Geol. Ges., 123, S. 53 - 63, Hannover.

- (1974): Bestimmung der Durchlässigkeit von Festgesteinen mit Hilfe einer DARCY - Apparatur. - Bbr, 25, S. 162 - 164, Köln.

URLICHS, M. (1966): Zur Fossilführung und Genese des Feuerlettens der Rhät - Lias - Grenzschichten und des Unteren Lias bei Nürnberg. - Erlanger Geol. Abh., 64, Erlangen.

- (1968): Erläuterungen zur geologischen Karte von Bayern 1 : 25 000, Bl. 6533 Röthenbach a.d. Pegnitz. - München (Bayer Geol. LA).

VIOHL, G. (1969): Die Keuper - Lias Grenze in Südfranken. - Erlanger Geol. Abh., H. 76, 11 Tab., 35 Abb., Erlangen.

WAGNER, G. (1923): Aus der Geschichte der Altmühl. - Nürnberg (Spindler).

WIEDERHOLD, W. (1965): Theorie und Praxis des hydrologischen Pumpversuchs. - GWF, 106, S. 933 - 938, S. 1170 - 1176, München.

WUNDT, W. (1958): Die Kleinstwasserführung der Flüsse als Maß für die verfügbaren Grundwassermengen. - Forsch. deutsch. Landesk., 104, S. 47 - 54, 2 Abb., Remagen.

ZWECKVERBAND WFW, (1978): Trinkwasser für Mittelfranken. - Nürnberg.

Nicht veröffentlichte Gutachten:

GRIMM, W.-D. (1977): Über die Möglichkeit der unterirdischen Wasserspeicherung im Bereich Ursprung - Weißenbrunn östlich von Nürnberg. - München.

THIELE, S. (1961): Hydrogeologische Begutachtung der grundwasserwirtschaftlichen Verhältnisse im Raum nördlich des Wasserwerkes Erlenstegen. - 98 S., 18 Taf., 4 Tab., Günzburg.

THIEM, A. (1878): Hydrogeologisches Gutachten des Bereiches Röthenbach - Ursprung. - 91 S., Leipzig

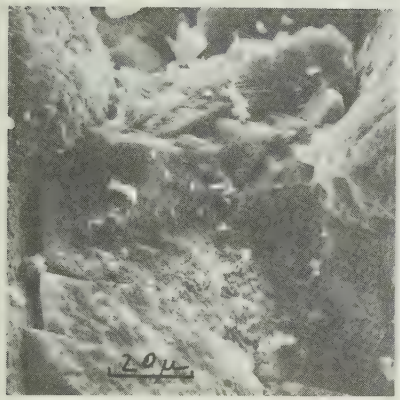


Abb. 1

Abb. 2

Fein- bis mittelsandiger Eisensandstein mit sekundärer calcitischer Kornbrückenbindung, tonigen Belägen und korrodierten Kornoberflächen

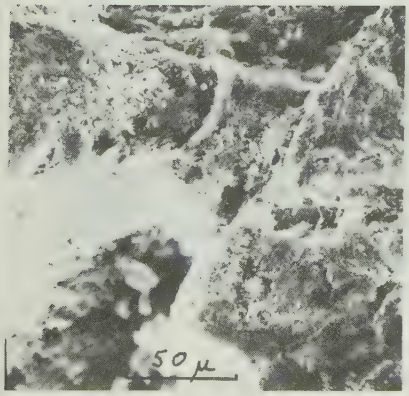


Abb. 3

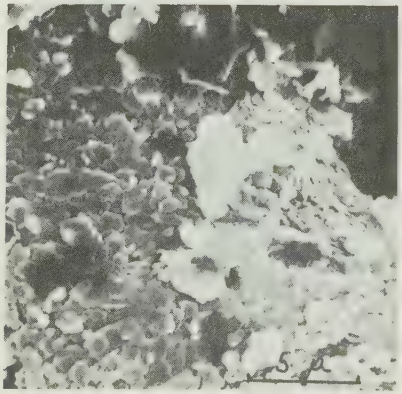


Abb. 4

Tonig gebundener, fein- bis mittelsandiger Rätsandstein (Rät-Lias-Übergangsschichten)

Tafel

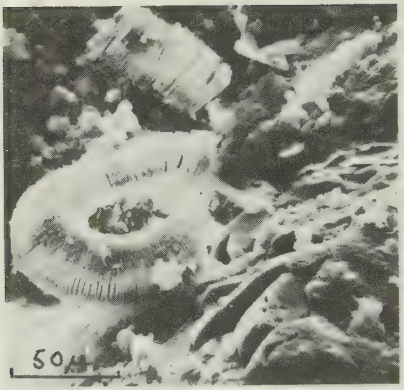


Abb. 5

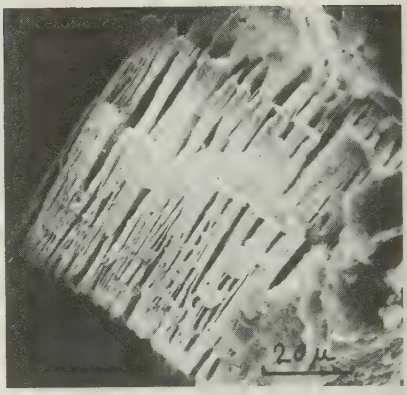


Abb. 6

Tonmineralaggregate im calcitisch überprägten Mittleren Burgsandstein der Kernbohrungen Schönberg (Abb. 5) und Diepersdorf (Abb. 6)

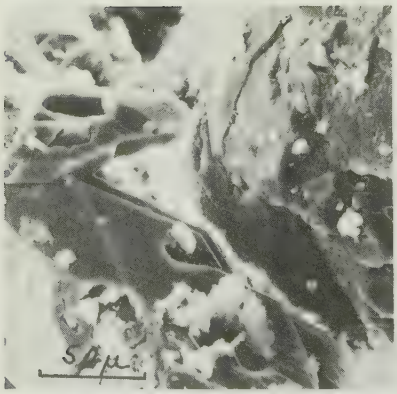


Abb. 7

Abb. 8

Calcitischer Belag im tonig gebundenen Mittleren Burgsandstein der Kernbohrungen Diepersdorf (Abb. 7) und Schönberg (Abb. 8)

Abb. 9

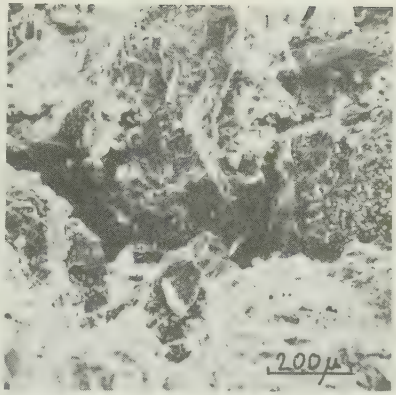


Abb. 10

Tonig gebundener grobkörniger Unterer Burgsandstein der Kernbohrung Unterferrieden II

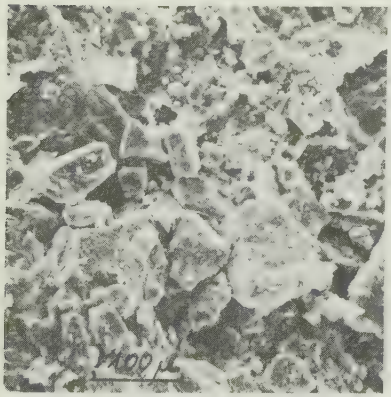


Abb 11

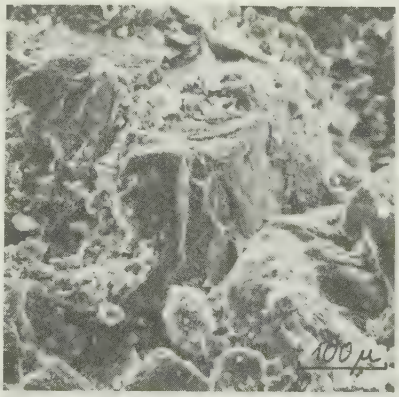


Abb. 12

Dolomitisch und kieslig gebundener fein- bis mittelsandiger Blasensandstein (loc. Feucht Brunnen V 102,5 - 108,7 m)

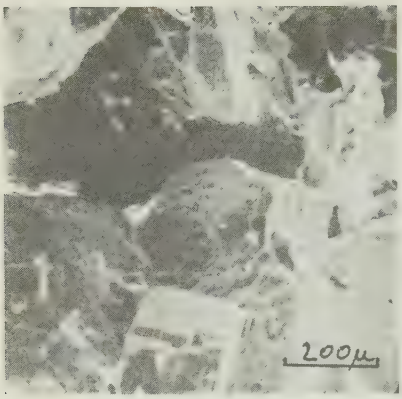


Abb. 13

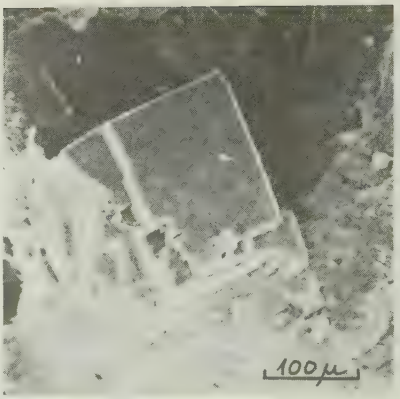


Abb. 14

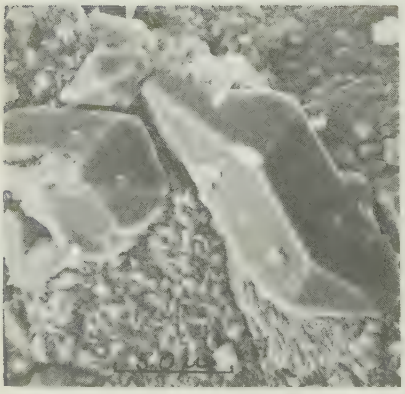


Abb. 15

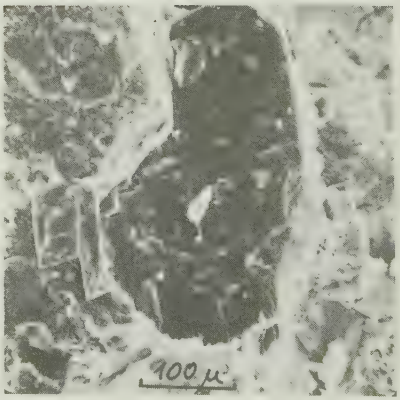
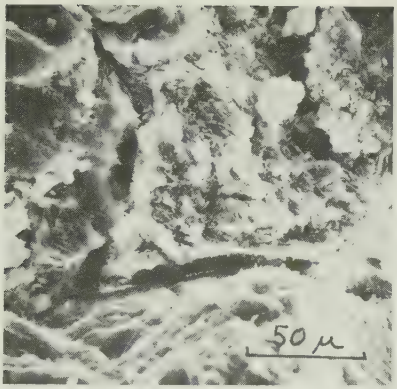


Abb. 16

Kristalline Bildungen in den dolomitisch gebundenen Lehrbergsandsteinen; die monoklinen bzw. rhombisch pyramidalen Kristallite weisen Gips- bzw. Anhydridähnliche Strukturen auf.

Tafel



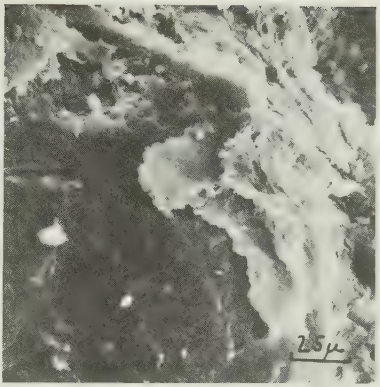


Abb. 17

Abb. 18

Zementierung von korrodierten und gerundeten Quarzkörnern durch tonige Beläge (Bohrung Feucht Brunnen V 168,5 - 181, 0 m, Benker Sandstein)

Anhang zu

Anlage 1 Erläuterung der Profile mit Kurzdeutung

Profil	Bez.	Lokalität		Kurzbeschreibung des Bohrprofils
16	16/1	Heuberg (RMD)	(0)	-13,0 kbo, -35,0 kbm, -50,0 (Endt.) kbu
	16/2	Heuberg (RMD)	(0)	-10,0 (Endt.) kf
	16/3	Heuberg (RMD)	(0)	-15,0 (Endt.) kf
17	17/1	Allersberg (Stw.Fürth) Br. 4	(1)	-42,0 kbu, -79,0 kbl, -103 (Endt.) kl
	17/2	Allersberg (Stw.Fürth) Br. 5	(1)	-18,0 kbm, -33,0 kbu, - 49,0 kc, -75,0 kbl, -104,0 (Endt.) kl
	17/3	Allersberg (Stw.Fürth) Br. 6	(1)	-14,0 kbm, -36,0 kbu, -51,0 kc, -74,0 kbl, 90,0 (Endt.) kl
	17/4	Allersberg (Stw.Fürth) Br. E	(2)	-19,5 kbo, -46,0 kbm, -66,2 kbu, -79,0 kc, -96,8 kbl -121,0 kl, -125,0 ks, -140,5 ke, -188,0 (Endt.) kbe
	17/5	Uttenhofen Br. I, II	(1)	-41,0 kf, -72,0 kbo, -101,5 kbm, -124,0 kbu, -150,0 (Endt.) kbl
18	18/2	Allersberg (Stw.Fürth) Br.18	(0)	-27,0 kbm, -44,0 kbu, -65,0 kc, -81,0 kbl, -91,0 (Endt.) kl
	18/3	Allersberg (Stw.Fürth) Br.17	(0)	-9,5 kbo, -51,0 kbu, -89,0 kbl, -90,0 (Endt.) kl
	18/4	Allersberg (Stw.Fürth) Br.16	(1)	-36,0 kbm, -52,0 kbu, -88,0 kbl, -95,0 (Endt.) kl
	18/5	Allersberg (Stw.Fürth) Br.15	(1)	-27,0 kbm, -48,0 kbu, -60,0 kc, -89,0 kbl, -90,0 (Endt.) kl
	18/6	Allersberg (Stw.Fürth) Br.14	(1)	-21,3 kbu, -45,0 kc, -64,0 kbl, -93,0 kl, -114,0 ks -125,0 (Endt.) ke
	18/7	Allersberg (Brunnb.-Gr.) Br.1	(1)	-21,5 kbo, -56,0 kbm, -75,0 kbu, -88,0 (Endt.) kc
	18/8	Allersberg, Gde.	(0)	-22,5 kbo, -54,0 kbm, -69,5 kbu, -87,5 (Endt.) kc
	18/9	Freystadt, Gde. Br. 3	(0)	-36,0 kf, -53,0 kbo, -79,0 kbm, -97,0 kbu, -113,0 kc, -137,0 kbl, -150,0 (Endt.) kl
19	19/1	Wendelstein Br. IV	(3)	-25,0 kbm, -54,2 kbu, -87,5 kbl, -119,3 kl, -134,8 k -140,0 (Endt.) ke
	19/2	Sperberslohe, Gde.	(0)	-38,0 kbu, -50,0 (Endt.) kbl
	19/3	Dürrenhembach	(0)	-18,5 kbm, -26,2 (Endt.) kbu
	19/4	Faberhof (Straßmühle)	(0)	-18,3 kbm, -41,3 (Endt.) kbu
	19/5	Neuhof (Stw.Fürth) VB 1	(0)	-11,4 kbo, -33,0 kbm, -ca.50 kbu, -80,5 (Endt.) kbl
	19/6	Möning Br. 2	(1)	-35,0 Lias, -36,2 kol, -92,0 kf, -115,0 kbo, -131,0 kbm, -156,0 kbu, -186,0 (Endt.) kbl
	19/7	Möning Br. 1	(1)	-41,5 Lias, -96,0 kf, -119,5 kbo, -150,0 (Endt.) kbm + kbu
20	20/1	Röthenbach St.Wolfgang Br. 3	(3)	-26,0 kbm, -54,7 kbu, -91,0 kbl, -112,0 kl, -122,0 (Endt.) ks
	20/2	Röthenbach St. Wolfgang Br. 1	(3)	-15,2 kbm, -41,0 kbu, -75,0 kbl, -78,0 (Endt.) kl
	20/3	Feucht Autob. Raststätte	(0)	-13,7 kbm, -34,5 kbu, -40,0 (Endt.) kbl
	20/4	Dürrenhembach	(0)	-18,5 kbm, -26,2 (Endt.) kbu
	20/5	Oberhembach (ESSO)	(4)	-20,0 kbo, -61,5 kbm, kbu, -76,0 (Endt.) kbl
	20/6	Pyrbaum	(1)	-21,3 kbo, -44,1 kbm, -63,7 kbu, -70,4 (Endt.) kbl
21	21/1	Altenfurth	(0)	-12,0 kbm, -47,0 kbu, -60,0 (Endt.) kbl
	21/2	Feucht (Muna)	(3)	-18,7 kbm, -45,1 kbu, -55,9 kc, -60,0 (Endt.) kbl
	21/3	Feucht Br. 2	(0)	-23,6 kbm, -50,2 kbu, -60,2 (Endt.) kbl

nhang zu

nlage 1 Erläuterung der Profile mit Kurzdeutung

rofil	Bez.	Lokalität		Kurzbeschreibung des Bohrprofils
1	21/4	Feucht (FELLA)	(3)	-26,2 kbm, -50,0 kbu, -60,0 (Endt.) kbl
	21/5	Feucht Schwimmbad	(0)	-26,0 kbm, -50,0 (Endt) kbu
	21/6	Feucht (privat)	(3)	-18,8 kbm, -44,0 kbu, -60,4 kc, -80,3 (Endt.) kbl
	21/7	Feucht Gde.	Br. V (0)	-21,6 kbo, -41,5 kbm, -80,4 kbu, -111,2 kbl, -143,3 kl, -148,2 ks, -159,7 ke, -204,0 (Endt.) kbe
	21/8	Schwarzenbruck Gde.	Br. 1 (3)	-26,7 kbm, -52,0 kbu, -76,3 kc, -89,7 kbl, -92,5 (Endtl.) kl
	21/9	Oberlindelburg	(0)	-20,7 kf, -48,2 kbo, -80,0 kbm, -100,0 (Endtl.) kbu
	21/10	Unterferrieden I (ESSO)	(4)	-38,0 kf, -64,0 kbo, -97,0 kbm, -120,5 kbu, -150,0 (Endt.) kbl
	21/11	Unterferrieden II (ESSO)	(4)	-22,0 Lias, -36,0 kol, -75,0 kf, -153,0 kbo, kbm, kbu -180,0 (Endt.) kbl
2	22/1	Fischbach (privat)	(0)	-17,0 kbm, -26,0 (Endt.) kbu
	22/2	Fischbach Autobahnmeisterei	(0)	-18,0 kbm, -35,0 (Endt.) kbu
	22/3	Brunn Fl.-Nr. 7.04.	Br. 2 (0)	-22,2 kbo, -55,8 kbm, -88,7 kbu, -101,0 kc, -120,0 kbl, -146,8 kl, -150,67 ks, -159,7 ke, -190,0 (Endt.) kbe
	22/4	Feucht	Br. 1 (3)	-16,0 kbo, -45,5 kbm, -77,0 kbu, -112,0 kbl, -134,0 kl, -145,0 ks, -150 (Endt.) ke
	22/5	Rummelsberg (ESSO)	(4)	-5,5 kol, -50,5 kf, -80,5 kbo, -105,5 kbm, -134,0 kbu, -144,0 (Endt.) kbl
	22/6	Rummelsberg	Br. 1a(0)	-27,0 kbm, -60,0 kbu, -100,0 (Endt.) kbl, kl
	22/7	Rummelsberg	Br. 3 (0)	-22,9 kbm, -56,8 kbu, -85,2 kbl, -101,0 (Endt.) kl
	22/8	Schwarzenbruck	Br. 3 (0)	-20,0 kbo, -38,7 kbm, -77,8 kbu, -87,3 kc, -116,2 kbl, -134,0 kl, -138,5 ks, -144,0 (Endt.) ke
	22/9	Burgthann	Br. 4 (0)	-22,1 kbo, -58,5 kbm, -86,0 kbu, -99,7 kc, -111,3 kbl, -132,1 kl, -139,5 ks, -142,0 (Endt.) ke
	22/10	Rübleinshof	(0)	-6,8 Lias, -36,0 kol, -78,0 kf, -108,5 kbo, -130,0 kbm, -169,0 kbu, -206,5 kbl, -219 kl, -224,0 ke, -240,0 (Endt.) kbe
	23/1	Kühlhof (EWAG)	(0)	-10,0 (Endt.) qu
	23/2	Eichelberg (EWAG)	(0)	-16,0 (Endt.) qu
	23/3	Eichelberg (EWAG)	(0)	-20,0 (Endt.) qu
	23/4	Brunn Pl.Nr. 7.04	Br. 1 (0)	-9,0 qu, -22,2 kbo, -55,8 kbm, -88,7 kbu, -101,0 kc -120,0 kbl, -146,8 kl, -150,6 ks, -159,2 ke, -190,0 (Endt.) kbe
	23/5	Brunn (EWAG)	(0)	-18,8 qu, -35,6 kbo, -60,0 (Endt.) kbm
	23/6	Winkelhaid	Br. 3 (0)	-49,7 kf, -78,2 kbo, -96,5 kbm, -121,7 kbu, -138,2 kc -147,8 kbl, -150,8 (Endt.) kl
	23/7	Winkelhaid	Br. 2 (0)	-54,6 kl, -97,6 kbo, kbm, -122,5 kbu, -140,0 (Endt.) kbl
	23/8	Winkelhaid	Br. 1 (0)	-8,3 kol, -54,1 kf, -76,2 kbo, -99,5 (Endt.) kbm
	24/1	Röthenbach (DIEHL)	Br. 2 (3)	-9,1 qu, -23,0 kbm, -54,0 kbu, -88,0 kbl, -107,0 (Endt.) kl
	24/?	Röthenbach (DIEHL)	Br. 1a(0)	-11,3 qu, -29,[illegible] kbm, -62,7 kbu, -82,2 kbl, -94,0 (Endt.) kl
	24/2	Röthenbach (DIEHL)	Br. 4 (3)	-14,0 qu, -29,5 kbm, -58,0 kbu, -75,0 (Endt.) kbl
	2 /6	[illegible] (ESSO)	Br. 3 (0)	-24,0 qu, -29,5 kbm, [illegible] kbu, -53,2 [illegible], -107,0 (Endt.) kl

Anlage 1 Erläuterung der Profile mit Kurzdeutung

Profil	Bez.	Lokalität		Kurzbeschreibung des Bohrprofils
24	24/5	Röthenbach (CONRADTY)	Br. 2 (0)	-19,8 qu, -23,8 kbm, -66,7 kbu, -98,9 kbl, -110,3 (Endt.)kl
	24/6	Röthenbach (DIEHL)	Br. 5 (0)	-22,0 qu, -29,0 kbm, -60,0 kbu, -78,8 kc, -99,1 kbl -100,5 (Endt.) kl
	24/7	Krämersweiher (EWAG)	Br.2a (0)	-31,7qu, -44,3 kbo, -74,6 kbm, -99,0, -106,7 kc, -131,7 kbl, -144,3 (Endt.) kl
	24/8	Krämersweiher (EWAG)	Br. 1 (0)	-32,3 qu, -48,0 kbo, -72,2 kbm, -99,2 kbu, -106,0 kc -110,5 (Endt.) kbl
	24/9	Krämersweiher (EWAG)	Br. 3 (0)	-36,4 qu, -47,1 kbo, -75,7 kbm, -104,9 kbu, -143,6 k -147,0 (Endt.) kl
25	25/1	Rückersdorf	Br. 4 (0)	-16,5 qu, -25,7 kbo, -61,5 kbm, -88,0 kbu, -118,0 kbl -121,0 (Endt.) kl
	25/2	Diepersdorf (ESSO)	(4)	-25,0 kf, -64,0 kbo, -123,5 kbm,kbu, -130,0 (Endt,kb
	25/3	Diepersdorf	Br. 3 (0)	-59,0 kf, -79,5 kbo, -116,0 kbm, -139,0(Endt.) kbu
	25/4	Diepersdorf	Br. 2 (0)	-2,6 qu, -15,5 kol, -55,3 kf, -82,3 kbo, -114,7 kbm -137,6 kbu, -140,0 (Endt.) kbl
	25/5	Diepersdorf	Br. 1 (0)	-8,6 kol, -58,2 kf, -80,7 kbo, -117,8 kbm, -130,0 (Endt.) kbu
26	26/1	Schönberg (ESSO)	(0)	- 55,0 kf, -86,0 kbo, -116,5 kbm, -145,5 kbu, -160,0 (Endt.) kbl
	26/2	Schönberg	(0)	2,5 qu, -7,6 Lias, -26,1 kol, -27,5 (Endt.) kf

Erläuterung zur Anlage 1 mit Kurzdeutungder Profile

Spalte 1: Profil N

Spalte 2: Bezeichnung der Aufschlußbohrung im Profil

Spalte 3: Ort, Besitzer bzw. Betreiber der Aufschlußbohrung

Spalte 4: Aufschlußbezeichnung

Spalte 5: Deutung des Bohrprofils durch

(0) eigene Deutung

(1) BERGER 1969

(2) BIRZER 1977

(3) BERGER 1978

(4) ESSO ERZ GmbH, Nürnberg, 1978

Spalte 6: Deutung des Profils:

Lias = Lias, kol = Rät-Lias-Übergangsschichten

kf = Feuerletten, kbo = Oberer Burgsandstein,

kbm = Mittlerer Burgsandstein, kbu = Unterer

Burgsandstein, kc = Coburger Sandstein,

kbl = Blasensandstein i.e.S. (bei Fehlen

des kc ist kbl als Blasensandstein i.w.S.

interpretiert), kl = Lehrbergsandstein,

ks = Schildsandstein, ke = Estherienschichten,

kbe = Benker Sandstein (undifferenziert)

Erläuterung zu den hydrochemischen Analysen

Bepr. Nr.	Beprobungsnummer Nr. 64.. entspricht dem Blatt 6534 Happurg, Nr. 65.. dem Blatt 6533 Röthenbach, Nr. 66.. dem Blatt 6633 Feucht und Nr. 67.. dem Blatt 6733 Allersberg
Datum	Jahr/Monat/Tag
r	Rechtswert
h	Hochwert
A	Art der Förderung, 1 = Quelle, 2 = Drainage, 3 = Tiefbrunnen
T	Temperatur in ^{o}C
l/s	Liter/sec. bzw. l/s·m Absenkung bei Tiefbrunnen
LF	Leitfähigkeit in mS/m
Eh	Angabe in mV
Ca...Mn	Angabe in mg/l
HCO_3...CO_2	Angabe in mg/l
Härte	Angabe in ^{o}dH
S.I.	Sättigungs-Index
Kat	Summe der Kationen in mval/l
An	Summe der Anionen in mval/l
GWL	Grundwasserleiter

1 Malm
2 Eisensandstein
3 Opalinuston, Jurensismergel
4 Posidonienschichten
Amaltheenton
6 Arietensandstein
7 Rät-Lias-Übergangsschichten
10 Feuerlettensandstein
11 Oberer Burgsandstein
12 Mittlerer Burgsandstein
13 Unterer Burgsandstein
14 Blasensandstein
15 Lehrbergschichten
16 Schilfsandstein
17 Lehrbergschichten
20 Quartär

Die Analysen 62 - 78, 88 - 95, 106 - 108 und 1001 - 1017 entstammen Unterlagen des Landesamtes f. Wasserwirtschaft, München und der EWAG, Nürnberg.

Anhang
Hydrochemische Analysen

Bepr. Nr.	Datum	r	h	A	T	l/s	LF	pH	Eh	Ca	Mg	Na	K	Fe	Mn	GWL
6491	77. 7.17	4287	8588	2	9.50	0.15	63.50	6.92	350.00	77.6000	28.9000	4.2000	1.6000	0.0500	0.0500	1
6492	77. 9.12	5190	7645	2	8.80	0.10	61.00	7.60	365.00	56.4000	15.6000	1.7000	0.8000	0.0500	0.0500	3
6501	77. 7.17	4937	8198	1	8.70	0.01	90.00	6.90	305.00	66.8000	28.4000	6.6000	2.7000	0.0500	0.0500	4
6502	77. 7.17	4969	8201	1	8.90	0.02	189.00	6.99	315.00	374.0000	56.8000	11.0000	3.4000	0.0800	0.0500	4
6503	77. 7.17	4937	8254	1	9.00	0.01	67.50	7.32	330.00	153.0000	13.7000	3.5000	0.8000	0.0500	0.0500	4
6504	77. 7.18	5126	8122	1	9.40	0.17	35.00	7.25	325.00	55.1000	11.2000	2.6000	2.2000	0.0500	0.0500	2
6505	77. 7.18	5138	8183	1	8.40	0.01	60.00	7.81	300.00	124.0000	16.5000	4.3000	3.2000	0.0700	0.0500	2
6506	77. 7.18	5053	8171	1	8.80	0.01	37.20	6.32	390.00	76.6000	6.4000	2.6000	2.7000	0.0500	0.0500	2
6507	77. 7.18	5049	8175	1	8.50	0.01	38.20	6.61	360.00	82.2000	6.7000	2.2000	2.0000	0.0500	0.0500	2
6508	77. 7.18	5049	8163	1	8.60	1.65	44.00	6.72	355.00	84.2000	12.2000	2.4000	1.5000	0.0500	0.0500	2
6509	77. 7.18	5033	8174	2	12.00	0.01	43.50	6.72	360.00	88.4000	11.3000	2.0000	1.2000	0.0500	0.0500	2
6510	77. 7.18	5037	8170	2	10.30	1.30	44.80	6.98	370.00	92.6000	12.4000	2.2000	1.5000	0.0500	0.0500	2
6511	77. 7.26	5042	8165	2	10.50	1.55	42.10	7.00	325.00	88.6000	7.7000	2.0000	1.3000	0.0500	0.0500	2
6512	77. 7.26	5029	8145	2	11.00	0.50	56.60	7.21	350.00	122.0000	3.3000	10.5000	7.4000	0.0500	0.0500	1
6513	77. 7.26	5137	8411	1	9.00	1.00	50.00	6.78	285.00	65.2000	6.3000	5.3000	7.3000	0.0500	0.0500	7
6514	77. 7.26	5143	8136	2	14.00	0.10	57.10	7.90	225.00	108.0000	20.3000	2.4000	4.4000	0.0800	0.0500	2
6515	77. 7.26	5138	8130	2	14.00	0.0	39.50	6.90	270.00	76.6000	8.4000	2.5000	1.1000	0.2500	0.0500	2
6516	77. 8. 4	5042	8081	2	9.20	0.02	36.00	6.80	330.00	65.3000	6.4000	2.5000	8.0000	0.0500	0.0500	2
6517	77. 8. 4	4898	8129	1	16.00	0.01	54.50	6.85	335.00	124.0000	3.0000	5.4000	0.5000	0.0900	0.0500	4
6518	77. 8. 4	4882	8134	1	13.90	0.47	89.50	6.90	345.00	165.0000	15.2000	25.0000	17.5000	0.0500	0.0800	7
6519	77. 8.10	4861	8259	1	9.30	0.30	71.20	6.90	315.00	107.6000	34.0000	5.4000	1.7000	0.0500	0.0500	7
6520	77. 8.10	4829	8249	1	11.50	0.01	52.50	6.50	330.00	88.4000	12.4000	7.7000	2.3000	0.0500	0.0500	7
6521	77. 8.10	4822	8248	1	11.90	0.01	57.30	6.79	315.00	96.8000	13.1000	10.3000	4.5000	0.0500	0.0500	7
6522	77. 8.17	4918	8261	2	16.10	0.01	44.00	7.55	305.00	74.1000	4.1000	7.6000	14.2000	0.0500	0.0500	7
6523	77. 8.17	5125	8277	1	10.90	0.01	54.90	6.82	360.00	76.4000	24.4000	6.8000	3.5000	0.0500	0.0500	4
6524	77. 8.25	4898	8294	2	9.90	0.30	51.80	6.19	280.00	71.3000	12.6000	7.1000	17.6000	0.0500	0.0500	7
6525	77. 9.12	5158	8075	1	10.40	0.01	36.50	8.20	275.00	58.5000	10.5000	2.2000	2.3000	0.0500	0.0500	2
6526	77. 9.12	5166	8061	2	10.00	0.35	25.00	7.32	285.00	71.5000	8.4000	2.3000	1.3000	0.0500	0.0500	3
6527	77. 9.12	5121	8089	1	10.70	0.01	43.00	7.39	320.00	61.1000	8.6000	8.0000	1.6000	0.0500	0.0500	3
6528	77. 9.12	5081	8090	1	11.00	0.01	20.90	5.65	425.00	13.8000	2.5000	2.3000	1.6000	0.1000	0.0500	2
6529	77. 9.12	5100	8074	1	12.00	0.01	39.00	8.20	320.00	63.4000	35.5000	3.6000	3.2000	0.0800	0.0500	3
6530	77. 9.12	5129	8075	2	10.00	0.05	38.00	6.20	445.00	56.9000	7.4000	6.2000	1.6000	0.0500	0.0500	3
6531	77. 9.12	5129	8082	2	10.00	0.10	29.70	6.92	350.00	46.7000	5.8000	2.3000	1.8000	0.0500	0.0500	3
6532	77. 9.12	5125	8079	2	10.00	0.10	43.00	6.80	375.00	68.1000	6.6000	10.5000	1.4000	0.0500	0.0500	3
6533	77. 9.12	4921	8444	1	10.10	0.12	15.60	5.65	415.00	23.0000	3.4000	1.8000	2.6000	0.0500	0.0500	1
6534	77. 9.13	4889	8330	1	10.90	0.03	75.00	7.15	380.00	91.2000	33.7000	21.2000	4.8000	0.0500	0.0500	7
6535	77. 9.13	4837	8419	1	9.30	0.17	100.00	6.95	400.00	135.0000	122.0000	12.8000	23.4000	0.1100	0.0500	10
6536	77. 9.13	4884	8396	1	11.20	0.01	32.50	6.90	315.00	88.9000	12.8000	3.9000	1.9000	0.0500	0.0500	6
6537	77. 9.13	5011	8395	2	10.60	1.50	84.00	7.15	355.00	97.2000	35.0000	19.9000	15.2000	0.0500	0.0500	6
6538	77. 9.13	4987	8323	2	13.50	0.01	74.00	7.00	355.00	98.6000	38.0000	6.1000	0.7000	0.0700	0.0500	6
6539	77. 9.13	5010	8311	1	9.60	0.01	60.00	7.35	400.00	90.0000	19.1000	5.8000	4.0000	0.0500	0.0500	6
6540	77. 9.13	4965	8280	1	13.20	0.01	51.00	7.25	385.00	114.0000	20.5000	6.1000	2.2000	0.0500	0.0500	4
6541	77. 9.14	5024	8396	2	11.40	0.25	86.50	8.00	385.00	90.6000	45.0600	14.8000	33.5000	0.1000	0.0500	6
6542	77. 9.14	5001	8257	1	11.40	0.01	93.00	7.82	455.00	153.0000	36.5000	6.2000	5.7000	0.0500	0.0500	4
6543	77. 9.14	5042	8244	1	9.30	0.01	97.00	7.00	245.00	194.0000	64.3000	6.4000	6.4000	2.3000	0.1000	4
6544	77. 9.14	4790	8276	1	11.50	0.01	48.50	7.28	195.80	70.8000	12.9000	13.3000	3.7000	0.0500	0.0500	10
6545	77. 9.14	4586	7838	1	9.30	0.01	46.50	7.25	480.00	66.4000	33.4000	3.7000	1.5000	0.0500	0.0500	10
6546	77. 9.14	4874	7465	1	7.90	1.70	12.60	5.60	500.00	15.6000	3.8000	1.6000	1.2000	0.1000	0.0500	7
6547	77. 9.14	4856	7461	1	9.10	0.10	16.40	6.60	455.00	22.3000	4.0000	3.9000	2.9000	0.1400	0.0500	7
6548	77. 9.14	4775	7538	1	9.20	0.01	40.50	7.80	380.00	41.2000	17.1000	14.0000	4.3000	0.0500	0.0500	10
6549	77. 9.14	4770	7577	1	10.90	0.01	47.00	7.60	400.00	41.5000	31.7000	2.1000	1.0000	0.0500	0.0500	10
6550	77. 9.15	4701	7479	1	10.10	0.01	18.70	6.72	385.00	32.5000	3.0000	1.7000	1.4000	0.0500	0.0500	10

Bepr. Nr.	HCO_3	SO_4	Cl	NO_3	NH_4	PO_4	F	SiO_2	zug. CO_2	S.I.	Ges.-Härte	Karb.-Härte	Kat	An
6501	257.0000	295.0000	33.4000	28.4000	0.0800	0.0500	0.1500	7.2000	9.9380	-0.7386	31.6000	11.8000	11.7900	11.7600
6502	286.0000	1060.0000	18.0000	0.1000	0.1000	0.1700	0.3800	6.1000	57.0126	0.2142	74.6000	13.1000	27.2300	27.2500
6503	219.0000	184.0000	20.9000	0.7000	0.0700	0.1600	0.5000	6.8000	16.6299	-0.0024	24.6000	10.1000	9.8400	9.8200
6504	146.0000	45.0000	9.6000	6.3000	0.1000	0.1400	0.2700	8.2000	3.0875	-0.7139	10.3000	6.7000	3.8400	3.7000
6505	321.0000	51.0000	26.6000	42.0000	0.0800	0.1200	0.3100	6.3000	29.1645	0.5361	21.2000	14.7000	7.8300	7.7700
6506	193.0000	56.0000	8.2000	0.8000	0.0500	0.1100	0.3400	8.3000	7.3122	-1.3816	12.7000	8.9000	4.5300	4.5900
6507	238.0000	43.0000	6.7000	1.2000	0.0500	0.1200	0.1400	8.9000	11.4389	-0.9879	13.3000	11.6000	4.8000	5.0000
6508	267.0000	44.0000	10.4000	5.4000	0.0500	0.1000	0.1100	4.6000	15.3718	-0.7814	15.6000	12.3000	5.5900	5.6800
6509	261.0000	42.0000	9.3000	6.3000	0.0800	0.1000	0.1000	5.2000	16.5505	-0.7102	15.0000	12.1000	5.4600	5.5100
6510	272.0000	44.0000	9.7000	7.0000	0.0500	0.1200	0.1000	4.8000	17.5621	-0.4523	16.1000	12.6000	5.7800	5.7500
6511	251.0000	37.0000	8.2000	5.9000	0.0700	0.1200	0.1000	5.3000	14.6472	-0.4892	14.5000	11.6000	5.1700	5.2100
6512	288.0000	39.0000	38.3000	30.0000	0.0500	0.1200	0.1000	5.3000	26.1361	-0.0635	18.3000	13.3000	7.0900	7.0800
6513	894.8000	55.0000	31.5000	101.2000	0.0500	0.1200	0.1100	8.2000	1.7160	-1.2212	13.7000	4.1000	5.1900	5.1400
6514	219.0000	150.0000	6.6000	0.1000	0.0500	0.0500	0.3700	10.1000	14.5069	0.5493	20.2000	10.1000	7.2600	8.9000
6515	247.0000	34.0000	6.5000	1.3000	0.0500	0.0500	0.1000	8.1000	14.4310	-0.5625	13.2000	11.4000	4.7500	4.9300
6516	165.0000	49.0000	7.8000	11.7000	0.0900	0.0500	0.1500	19.4000	4.5883	-1.0425	11.3000	7.6000	4.1100	4.1300
6517	261.0000	60.0000	31.0000	15.0000	0.1500	0.0500	0.1900	6.4000	25.1557	-0.1882	18.0000	12.0000	6.7000	6.6500
6518	323.0000	140.0000	80.5000	34.0000	0.0500	0.1400	0.1800	7.8000	45.9097	-0.0980	27.2000	14.9000	11.1900	11.0400
6519	251.0000	152.0000	30.9000	18.0000	0.0400	0.1200	0.1700	7.1000	15.5976	-0.3041	25.1000	11.6000	8.4300	8.4400
6520	115.0000	74.0000	34.8000	84.7000	0.1000	0.0500	0.1000	6.6000	3.1595	-1.2995	15.5000	5.3000	5.8500	5.8700
6521	143.0000	76.0000	45.2000	68.2000	0.0700	0.1000	0.1000	6.2000	5.3480	-0.8867	16.8000	6.6000	6.4500	6.4800
6522	103.0000	70.0000	36.0000	35.4000	0.0700	0.0700	0.1000	6.7000	2.4836	-0.3228	11.6000	4.8000	4.7300	4.7400
6523	158.0000	65.0000	32.0000	81.4000	0.0700	0.1400	0.1700	6.0000	4.9978	-0.2098	16.7000	7.3000	6.2100	6.1500
6524	51.3000	60.0000	33.9000	129.0000	0.0800	0.1400	0.1000	7.7000	0.4935	-2.1033	13.2000	2.4000	5.3600	5.1400
6525	174.0000	44.0000	9.6000	6.5000	0.1200	0.0500	0.2100	9.3000	4.7909	-0.3663	10.7000	7.9000	3.9800	4.1300
6526	210.0000	16.0000	12.2000	18.0000	0.0700	0.0500	0.1600	7.3000	8.3686	-0.7613	11.9000	9.6000	4.3400	4.4000
6527	122.0000	35.0000	36.8000	35.4000	0.0400	0.0500	0.1500	9.0000	2.5034	-0.5773	10.5000	5.6000	4.1600	4.3300
6528	9.8000	34.0000	7.0000	9.3000	0.2300	0.0700	0.1500	9.0000	0.0043	-4.7959	2.6000	0.4000	1.0700	1.2400
6529	311.0000	57.0000	5.1000	0.5000	0.0500	0.0500	0.4200	9.1000	16.5910	0.7251	17.2000	14.3000	6.3800	6.4300
6530	103.0000	34.0000	32.4000	31.8000	0.0500	0.0500	0.1200	8.9000	1.6406	-1.8947	9.7000	4.7000	3.7600	3.7300
6531	104.0000	32.0000	20.0000	10.1000	0.0500	0.0500	0.1400	8.6000	1.4600	-1.2444	8.1000	4.8000	3.0600	3.0900
6532	134.0000	38.0000	41.0000	19.2000	0.0500	0.0500	0.1400	9.0000	3.2507	-1.0981	11.6000	6.2000	4.4400	4.4700
6533	42.7000	27.0000	6.1000	1.0000	0.0600	0.0500	0.1000	10.1000	0.1264	-3.2514	4.0000	2.0000	1.5800	1.4300
6534	271.0000	55.0000	7.1000	46.2000	0.0500	0.0700	0.1600	7.2000	17.0595	-0.2607	20.5000	12.4000	8.3700	8.3500
6535	566.0000	371.0000	18.5000	0.3000	0.0600	0.0500	0.1000	9.2000	88.9175	0.0299	47.0000	26.0000	17.9100	17.5300
6536	171.0000	51.0000	6.6000	0.1000	0.5400	0.0500	0.2000	5.6000	4.0046	-0.9962	9.8000	7.0000	3.7100	4.0900
6537	243.0000	66.0000	67.5000	103.0000	0.0700	0.4300	0.1100	8.0000	14.2192	-0.2825	21.6000	11.1000	9.0900	8.9300
6538	268.0000	62.0000	45.6000	92.4000	0.3000	0.0900	0.1500	6.9000	19.4514	-0.3126	22.5000	12.3000	8.3400	8.4500
6539	201.0000	58.0000	31.1000	68.2000	0.0500	0.1000	0.1600	6.0000	9.2002	-0.2345	17.0000	9.3000	6.4100	6.5200
6540	262.0000	100.0000	25.0000	16.2000	0.1700	0.0500	0.3100	5.0000	21.3130	-0.0218	20.6000	12.6000	7.7000	7.3500
6541	336.0000	68.0000	53.0000	82.5000	0.0500	0.4700	0.1400	5.7000	25.7168	0.7184	23.2000	15.4000	9.7700	9.7500
6542	328.0000	214.0000	32.0000	18.7000	0.0900	0.2100	0.2900	6.7000	39.3276	0.7488	30.2000	15.1000	11.1900	10.9400
6543	386.0000	422.0000	10.0000	0.1000	0.1800	0.1300	0.1000	6.8000	60.1974	0.1640	41.9000	17.7000	15.4400	15.4300
6544	165.0000	58.0000	30.9000	30.6000	0.0500	0.0500	0.1000	3.9000	5.2729	-0.9597	12.8000	7.6000	5.2500	5.2730
6545	284.0000	39.0000	27.0000	8.5000	0.1000	0.0500	0.1100	6.9000	13.1146	-0.3174	17.7000	13.1000	6.6210	6.3600
6546	43.9000	21.0000	4.2000	0.2000	0.0500	0.0500	0.1000	7.4000	0.1064	-3.8211	3.6000	2.6000	1.3900	1.2700
6547	45.8000	26.0000	11.5000	0.5000	0.2100	0.0500	0.1000	6.2000	0.1353	-2.3137	4.0000	2.1000	1.6800	1.6300
6548	159.0000	33.0000	33.4000	0.1000	0.0500	0.0500	0.1900	7.4000	2.7190	-0.8561	9.7000	7.1000	4.1900	4.2400
6549	223.0000	45.0000	7.7000	1.2000	0.0700	0.0500	0.1000	6.9000	5.3349	-0.2414	13.1000	10.1000	4.8000	4.7700
6550	76.2000	32.0000	4.8000	0.3000	0.0700	0.0500	0.1000	7.5000	0.5504	-1.6709	5.2000	3.5000	1.9400	2.0500

Nr.	Datum	r	h	A	T	l/s	LF	pH	Eh	Ca	Mg	Na	K	Fe	Mn	GWL
6551	77. 9.15	4796	7394	1	10.30	0.10	11.00	3.85	350.00	4.3000	3.5000	1.8000	2.3000	0.2200	0.1400	7.
6552	77. 9.15	4791	7384	1	9.70	0.10	9.20	4.70	515.00	10.8000	1.8000	1.4000	2.0000	0.0500	0.0500	10.
6553	77. 9.15	4633	7465	1	11.00	0.10	10.70	4.30	340.00	8.1000	3.3000	1.9000	1.7000	0.2400	0.1600	10.
6554	77. 9.15	4593	7483	2	9.80	0.01	58.00	7.80	380.00	67.5000	38.5000	4.1000	4.6000	0.0500	0.0500	10.
6555	77. 9.15	4551	7456	1	10.10	0.01	56.50	6.85	465.00	70.1000	33.8000	4.3000	6.8000	0.0500	0.3600	10.
6556	77. 9.16	4787	7535	1	10.00	0.01	29.00	6.89	215.00	31.2000	14.4000	3.7000	4.5000	0.1100	0.0500	11
6557	77. 9.16	4537	7804	1	10.00	0.01	32.00	3.55	325.00	16.3000	5.5000	45.2000	3.2000	0.2800	0.3000	7
6558	77. 9.16	4449	7768	1	9.20	0.01	87.00	7.30	380.00	73.7000	53.2000	5.9000	0.8000	0.0500	0.0500	10
6559	77. 9.16	4476	7599	1	9.90	0.10	92.00	6.70	265.00	58.7000	19.4000	133.0000	1.9000	0.3000	0.0500	11
6561	78. 6.13	4020	7494	3	10.00	0.50	105.00	6.04	305.00	87.0000	15.6000	34.2000	100.0000	0.0500	0.0500	12
6562	78. 6.13	4712	8191	3	10.20	0.01	72.00	7.43	320.00	113.0000	27.7000	9.2000	18.6000	0.0500	0.0500	10
6563	78. 6.13	4257	8141	3	10.40	0.01	58.00	6.39	295.00	70.1000	11.4000	22.0000	19.2000	0.0600	0.1000	20
6564	78. 6.25	4844	8078	3	10.30	0.10	8.30	6.53	335.00	11.2000	0.0	0.4000	0.6000	0.0500	0.0500	10
6565	78. 6.25	4084	7709	3	9.90	0.06	8.40	6.08	295.00	11.2000	2.7000	1.4000	2.3000	0.0500	0.0500	11
6566	78. 6.25	4271	7623	3	9.80	0.37	22.00	6.62	190.00	22.2000	5.7000	1.9000	2.2000	0.2400	1.2900	12.
6567	78. 6.13	4030	7511	3	11.00	0.01	14.40	5.58	315.00	13.6000	2.1000	2.6000	5.0000	0.0500	0.0500	12.
6568	78. 6.27	4471	8428	3	10.80	0.10	38.50	6.55	320.00	47.3000	6.0000	8.6000	19.2000	0.0500	0.0500	11.
6569	78. 6.27	4018	8141	3	10.20	0.24	37.00	7.80	330.00	51.1000	17.3000	1.6000	2.4000	0.0500	0.0500	13.
6570	78. 6.27	4968	7959	1	8.70	0.15	80.50	7.13	370.00	95.2000	18.8000	41.8000	10.4000	0.0500	0.0500	6
6571	78. 9.27	4026	8092	3	9.80	0.01	50.50	5.65	170.00	61.1000	12.2000	9.6000	20.0000	4.5000	0.5600	20
6574	78. 6.14	4001	7333	3	10.10	0.02	31.00	5.39	295.00	28.3000	3.4000	11.2000	16.6000	0.0500	0.3300	12
6578	78. 6.14	4041	7392	3	10.30	0.10	13.00	5.61	205.00	8.4000	1.2000	6.0000	4.1000	0.3800	0.0500	12
6581	78. 6.15	4749	8296	3	10.40	0.02	64.00	7.27	765.00	80.6000	14.3000	15.8000	44.4000	0.0500	0.0500	10
6582	78. 6.15	4753	8322	3	10.00	0.10	66.00	7.50	340.00	91.6000	25.9000	21.8000	3.3000	0.0500	0.0500	20.
6601	77. 8.26	5066	7146	1	8.90	0.01	30.00	7.75	245.00	82.6000	59.0000	1.7000	0.5500	0.1000	0.0500	4.
6602	77. 8.26	5093	7181	1	8.70	0.60	54.00	6.62	265.00	75.2000	6.7000	7.7000	18.5000	0.0800	0.2000	4.
6603	77. 9.14	4904	7259	2	11.40	0.90	60.50	6.69	345.00	82.6000	25.3000	7.6000	5.4000	0.0500	0.0500	7
6604	77. 9.20	4894	7256	1	10.50	0.10	41.00	6.62	355.00	61.1000	9.1000	6.4000	4.3000	0.0500	0.0500	7.
6605	77. 9.20	4509	7334	2	9.70	0.02	26.80	6.72	330.00	40.5000	10.3000	2.0000	1.8000	0.0500	0.0500	10.
6606	77. 9.20	5104	7032	2	9.50	5.40	56.10	7.12	385.00	81.4000	15.6000	2.2000	2.2000	0.0500	0.0500	7.
6607	77. 9.20	4612	7042	1	10.20	0.01	32.40	8.08	400.00	46.7000	29.8000	1.6000	1.3000	0.0500	0.0500	10.
6608	77. 9.20	5107	7042	2	9.60	0.03	59.00	7.20	375.00	89.6000	21.5000	2.7000	2.2000	0.0500	0.0500	7.
6609	77. 9.20	5100	7033	2	9.50	4.50	56.70	7.12	385.00	85.2000	19.7000	2.2000	2.2000	0.0500	0.0500	7.
6610	77. 9.20	5072	7021	2	9.90	3.80	73.50	7.20	395.00	99.0000	24.8000	5.7000	6.7000	0.0500	0.0500	7
6611	77. 9.20	5083	7026	1	8.80	0.01	52.00	7.22	395.00	81.6000	13.1000	2.4000	1.5000	0.1400	0.0500	7
6612	77. 9.20	5070	7029	1	8.70	0.80	47.00	7.25	390.00	56.8000	18.6000	3.2000	2.7000	0.0500	0.0500	7
6613	77. 9.20	5044	7071	1	7.90	0.01	49.50	8.25	370.00	78.4000	14.6000	5.4000	10.5000	0.0500	0.0500	7
6614	77. 9.21	5101	7076	1	8.60	0.01	47.00	7.62	195.00	87.9000	17.9000	2.8000	0.8000	18.4000	1.1100	6
6615	77. 9.21	4790	7070	1	9.80	0.01	27.00	7.98	350.00	41.7000	8.8000	2.1000	2.7000	0.0500	0.0500	7
6616	77. 9.21	4675	7070	1	11.20	0.01	11.20	4.93	405.00	9.6000	2.9000	1.6000	12.5000	0.0700	0.0500	7.
6617	77. 9.21	4696	7075	1	10.80	0.01	9.60	3.50	515.00	6.9000	3.0000	1.8000	2.8000	0.2400	0.0500	7.
6618	77. 9.21	4675	7033	1	11.80	0.01	90.50	7.15	380.00	144.0000	67.1000	17.5000	18.6000	0.0500	0.0500	7.
6619	77. 9.21	4924	7035	1	9.80	2.10	42.00	6.75	365.00	69.4000	7.0000	5.2000	5.2000	0.0500	0.0500	7
6620	77. 9.21	4999	6955	2	9.00	2.15	46.50	7.25	425.00	98.8000	13.6000	5.3000	1.7000	0.0500	0.0500	7
6621	77. 9.21	5043	6903	2	9.00	0.21	39.50	7.40	410.00	73.7000	41.8000	4.3000	6.8000	0.0500	0.0500	7
6622	77. 9.21	5127	7003	1	9.90	0.01	35.00	8.09	410.00	68.1000	16.4000	3.1000	1.4000	0.0500	0.0500	7
6623	77. 9.21	5088	6815	1	9.50	0.15	57.50	7.50	215.00	76.1000	13.4000	9.1000	26.6000	0.0600	0.0500	7
6624	77. 9.21	5104	4798	1	9.10	0.18	44.50	7.39	245.00	90.0000	24.4000	3.3000	1.6000	0.0500	0.0500	7
6625	77. 9.21	5134	6826	1	9.20	2.70	44.00	6.25	225.00	60.1000	21.2000	5.5000	5.4000	0.0800	0.0500	7
6626	77. 9.21	5130	6813	1	9.50	0.10	28.80	6.98	150.00	100.0000	18.1000	3.1000	2.5000	6.3400	0.5200	7
6627	77. 9.22	5122	6836	1	8.10	0.10	42.00	7.03	390.00	87.6000	16.2000	4.0000	4.7000	0.0500	0.0500	7
6628	77. 9.22	5124	6846	1	8.10	0.20	36.00	7.22	370.00	87.6000	16.8000	4.3000	5.2000	0.0500	0.0500	7
6629	77. 9.22	5115	6867	1	8.00	0.40	52.00	8.39	355.00	84.2000	15.2000	4.3000	4.2000	0.0500	0.0500	7
6630	77. 9.22	5100	6867	2	9.00	3.30	42.00	7.38	385.00	78.6000	13.5000	4.5000	2.5000	0.0700	0.0500	7
6631	77. 9.22	5101	6866	1	8.40	0.55	34.50	7.22	400.00	83.0000	14.6000	4.0000	4.0000	0.0500	0.0500	7
6632	77. 9.22	4812	6966	1	8.90	1.20	25.20	6.92	380.00	35.1000	5.8000	1.3000	3.3000	0.0500	0.0500	7
6633	77. 9.22	5109	6924	2	9.00	0.70	42.00	7.40	325.00	97.4000	23.5000	3.9000	2.0000	0.0500	0.0500	7
6634	77.10. 5	4868	6986	1	9.70	0.30	12.60	4.40	330.00	10.4000	5.4000	6.7000	2.7000	0.1600	0.1000	7
6635	77.10. 5	4971	6946	1	10.40	0.29	53.00	8.09	385.00	98.2000	7.8000	5.3000	2.3000	0.0500	0.0500	7
6636	77.10. 5	4987	6953	1	9.50	0.30	59.50	8.25	355.00	88.4000	6.6000	6.8000	4.5000	0.0500	0.0500	7
6637	77.10. 5	4948	6864	1	9.40	0.30	65.00	7.35	340.00	112.2000	8.4000	12.4000	5.3000	0.0500	0.0500	7
6638	77.10. 5	4952	6878	1	9.50	0.20	25.60	7.65	160.00	40.5000	5.8000	2.9000	3.1000	0.0500	0.1000	7
6639	77.10. 5	4929	6913	2	9.40	1.80	33.50	7.15	340.00	57.1000	10.0000	2.9000	4.0000	0.0500	0.0500	11
6640	77.10. 5	4900	6904	1	9.10	0.01	59.00	7.20	400.00	81.6000	32.5000	3.3000	5.5000	0.0500	0.0500	7
6641	77.10. 5	4878	6986	1	8.50	0.80	22.40	6.52	405.00	31.3000	3.2000	4.3000	4.9000	0.0800	0.0500	7

6551	0.0	25.0000	4.4000	0.1000	0.7100	0.0500	0.1500	11.5000	0.0	-5.6377	1.4700	0.0	0.6900	0.6400
6552	13.4000	24.0000	39.0000	0.7000	0.0500	0.0500	0.1000	6.7000	0.0059	-5.0422	1.9000	0.6000	0.8000	0.8200
6553	284.0000	43.0000	4.8000	0.1000	0.2000	0.0500	0.1400	10.1000	1.9625	-4.1634	2.4000	0.0	0.9700	1.0400
6554	178.0000	88.0000	5.1000	0.5000	0.0800	0.0500	0.1800	7.2000	6.5425	-2.1073	18.3000	13.2000	6.8400	6.7000
6555	125.0000	147.0000	7.2000	0.3000	0.1500	0.0500	0.1400	5.9000	2.7216	-1.6769	17.6000	9.1000	6.6400	6.5300
6556	0.0	47.0000	7.7000	0.1000	0.2900	0.1300	0.1000	6.3000	0.0	-1.6936	7.7000	5.7000	3.8400	3.8500
6557	0.0	42.0000	96.2000	0.1000	0.0900	0.0500	0.1000	10.9000	0.0	-5.2832	3.9000	0.0	3.4500	3.5800
6558	341.0000	41.0000	66.0000	0.7000	0.0800	0.0500	0.1000	6.9000	20.2572	-0.1319	22.5000	15.7000	8.1400	8.3400
6559	293.0000	47.0000	153.0000	0.1000	0.1400	0.0500	0.1600	8.1000	12.5821	-0.8974	13.4000	13.4000	9.9500	10.0900
6561	21.4000	135.0000	11.0000	194.0000	0.3100	0.0500	0.1000	2.1000	0.1012	-2.5297	15.8000	1.0000	9.7200	9.3900
6562	400.0000	94.0000	15.2000	7.9000	0.1300	0.0800	0.1000	10.6000	43.4413	0.2719	22.2000	18.3000	8.8100	9.0700
6563	76.3000	100.0000	42.2000	46.9000	0.1500	0.0700	0.1000	8.7000	1.0720	-1.7134	12.4000	3.1000	5.8400	5.2700
6564	20.7000	11.0000	2.0000	9.7000	0.1700	0.0700	0.1000	2.2000	0.0159	-3.8416	1.5000	1.0000	0.5900	0.7800
6565	32.9000	2.0000	5.0000	3.1000	0.0600	0.9100	0.1000	9.2000	0.0380	-3.2864	2.1000	1.5000	0.9000	0.7700
6566	104.0000	8.0000	6.3000	1.8000	0.3200	0.1300	0.1000	7.5000	0.7077	-1.9040	4.8000	4.4000	1.9100	2.0800
6567	9.1000	15.0000	12.1000	13.2000	0.0700	0.0700	0.1000	6.9000	0.0037	-4.2243	2.4000	0.4000	1.1000	1.0200
6568	88.5000	73.0000	12.5000	17.6000	0.1000	0.0400	0.1000	5.1000	1.0416	-1.6660	8.0000	4.1000	3.7300	3.6100
6569	221.0000	18.0000	9.2000	1.9000	0.0900	0.0800	0.1000	9.3000	6.7020	-0.0139	11.1000	10.1000	4.1000	4.2900
6570	211.0000	70.0000	102.0000	35.1300	0.0700	0.4300	0.1000	6.8000	9.9415	-0.4278	17.6000	9.7000	8.3803	8.3600
6571	18.3000	198.0000	27.5000	14.1000	1.1000	0.0500	0.1000	12.0000	0.0517	-3.1386	11.4000	0.8000	5.2100	5.4300
6574	11.6000	68.0000	21.9000	28.4000	1.0700	0.0500	0.1000	3.5000	0.0110	-3.9660	4.7000	0.5000	2.6000	2.6900
6578	17.7000	5.0000	22.2000	14.1000	0.1200	0.1000	0.1000	5.2000	0.0086	-4.1366	1.4000	0.8000	0.8900	1.2500
6581	273.0000	54.0000	17.7000	58.7000	0.0900	2.6000	0.1000	15.8000	15.4848	-0.2141	14.6000	12.5000	7.0200	7.0400
6582	293.0000	42.0000	47.8000	47.7000	0.0800	0.0800	0.1000	7.0000	19.4157	0.1916	18.8000	13.4000	7.7300	7.9600
6601	223.0000	35.0000	12.0000	0.1000	0.0400	0.3100	0.2300	4.8000	9.6048	0.1677	12.9000	10.2000	4.6900	4.7200
6602	66.1000	74.0000	26.5000	106.0000	0.0500	0.1400	0.1000	7.0000	0.8267	-1.5741	12.0000	3.0000	5.1100	5.0600
6603	249.0000	52.0000	23.6000	57.8000	0.0900	0.3500	0.1000	7.0000	13.5096	-0.7926	17.4000	11.4000	6.6700	6.7500
6604	117.0000	58.0000	20.1000	26.4000	0.0500	0.0500	0.1000	6.1000	2.2752	-1.3676	10.6000	3.4000	4.2800	4.0800
6605	119.0000	36.0000	4.3000	0.1000	0.0500	0.0700	0.1000	8.5000	1.5746	-1.4671	8.0000	5.5000	3.0100	2.8300
6606	261.3000	38.3000	9.0000	19.0000	0.0500	0.0500	0.1000	6.7000	13.9274	-0.6454	14.2000	12.0000	5.5100	5.6400
6607	176.0000	38.0000	3.5000	0.3000	0.0500	0.0500	0.1000	8.0000	3.8216	0.1627	10.6000	8.1000	3.8900	3.7700
6608	244.0000	49.0000	20.2000	58.3000	0.0500	0.0800	0.1000	6.8000	13.1970	-0.3868	17.5000	11.2000	6.4200	6.5300
6609	265.6000	37.0000	8.2000	18.5000	0.0500	0.0500	0.1000	6.7000	14.9977	-0.3817	15.3000	12.2000	5.6200	5.6400
6610	311.0000	46.0000	28.0000	40.2000	0.0500	0.0500	0.1000	6.0000	23.4810	-0.1422	19.5000	14.3000	7.4000	7.5000
6611	212.0000	66.0000	7.3000	12.0000	0.0500	0.0500	0.2100	6.1000	8.9834	-0.4145	14.4000	9.7000	5.2900	5.2500
6612	256.0000	49.0000	17.4000	40.2000	0.0500	0.0500	0.1000	7.1000	15.1421	-0.2257	17.1000	11.8000	6.5700	6.3600
6613	182.0000	86.0000	25.6000	12.8000	0.0800	0.0800	0.1600	8.6000	6.1110	0.5127	14.3000	8.3000	5.6100	5.7000
6614	220.0000	83.0000	10.9000	3.1000	0.0500	0.0500	0.1000	5.3000	10.1455	0.0306	16.4000	10.1000	5.7600	5.6900
6615	110.0000	47.0000	5.5000	0.9000	0.0600	0.0500	0.1000	8.9000	1.3864	-0.2252	7.8000	5.0000	2.9600	2.9600
6616	14.9000	34.0000	2.5000	0.4000	0.0500	0.0500	0.1000	8.0000	0.0070	-4.7875	2.0000	0.7000	1.1000	1.0300
6617	0.0	26.0000	6.8000	0.1000	0.1100	0.0800	0.1000	8.7000	0.0	-5.7691	1.7000	0.0	0.7500	0.7300
6618	444.0000	240.0000	40.8000	31.8000	0.0500	0.0500	0.1000	9.2000	66.9617	0.2038	37.0000	20.4000	13.9600	13.9400
6619	82.4000	41.0000	22.0000	88.0000	0.0500	0.0500	0.1000	6.3000	1.2587	-1.3642	11.3000	3.8000	4.4000	4.2500
6620	213.0000	45.0000	26.0000	70.4000	0.0400	0.0500	0.1000	8.1000	10.9334	-0.2257	16.8000	9.8000	6.2700	6.3000
6621	353.0000	53.0000	13.0000	10.1000	0.0500	0.0500	0.1800	7.7000	21.6682	-0.0295	19.9000	16.2000	7.4800	7.4200
6622	227.0000	46.0000	11.9000	0.5000	0.0500	0.0500	0.1700	6.3000	9.0508	0.4399	13.3000	10.4000	4.9200	5.0300
6623	140.0000	83.0000	34.1000	59.4000	0.0500	0.0700	0.1000	9.1000	3.7559	-0.3250	13.7000	6.4000	5.9900	5.9400
6624	299.3000	57.0000	9.3000	13.7000	0.1300	0.0500	0.1600	5.9000	19.3316	-0.0326	18.2000	13.7000	6.6900	6.5700
6625	229.0000	35.0000	20.0000	6.7000	0.0800	0.0500	0.2600	0.9000	7.9395	0.5299	13.3000	10.5000	5.1200	5.1500
6626	360.0000	30.0000	9.5000	0.3000	0.7000	0.0500	0.3000	6.6000	30.4931	-0.3365	18.2000	16.5000	6.6900	6.8400
6627	237.0000	63.0000	13.0000	15.3000	0.1100	0.0500	0.1700	6.0000	11.5909	-0.5398	16.0000	10.9000	5.9900	5.8700
6628	231.3000	66.0000	15.8000	15.0000	0.0800	0.0500	0.1500	6.8000	10.9933	-0.3671	16.1000	10.6000	6.0700	5.8600
6629	214.0000	64.0000	13.9000	16.8000	0.0700	0.0500	0.1300	6.6000	9.1103	-0.2519	15.3000	9.8000	5.7500	5.5000
6630	217.0000	46.0000	12.6000	26.0000	0.0700	0.0500	0.1300	6.3000	9.2009	-0.2579	14.1000	10.0000	5.2900	5.3000
6631	227.0000	54.0000	13.5000	17.4000	0.0400	0.0500	0.1300	6.3000	10.2952	-0.3874	14.9000	10.4000	5.6100	5.5100
6632	146.0000	17.0000	4.5000	1.3000	0.1800	0.1300	0.1100	7.2000	2.0300	-1.7673	7.2300	6.7000	2.7700	2.8100
6633	294.0000	56.0000	18.9000	28.8000	0.0600	0.0500	0.1000	6.7000	20.0456	-0.0618	19.0000	13.4000	7.0100	6.9800
6634	0.0	13.0000	31.1000	0.2000	0.0700	0.0500	0.1000	7.8000	0.0	-4.7063	2.7000	0.0	1.3200	1.1500
6635	226.0000	50.0000	25.4000	18.8000	0.0500	0.1200	0.1100	6.4000	12.9328	-0.2830	16.6000	12.4000	5.8300	5.7700
6636	195.0000	48.0000	33.9000	18.2000	0.0500	0.0700	0.1400	6.5000	8.4987	-0.6252	13.9000	9.4000	5.3700	5.4500
6637	256.0000	61.0000	37.8000	14.5000	0.0500	0.1000	0.1000	6.8000	17.8828	-0.0457	17.6000	11.8000	6.9700	6.7600
6638	73.9000	44.0000	15.2000	13.0000	0.0500	0.0500	0.1000	6.6000	0.5990	-1.7615	7.0000	3.4000	2.7100	2.7500
6639	163.0000	36.0000	10.9000	5.4000	0.0500	0.2100	0.1000	6.1000	3.9907	-0.7524	10.3000	7.5000	3.9000	3.8200
6640	323.0000	67.0000	9.1000	2.3000	0.0500	0.0700	0.1000	8.5000	20.1160	-0.2282	18.9300	14.8000	7.0400	7.0000
6641	34.7000	40.0000	16.4000	12.4000	0.0500	0.0700	0.1000	7.0000	0.1039	-2.3687	5.1000	1.6000	2.1400	2.0600

Nr.	datum	r	h	A	T	l/s	LF	pH	Eh	Ca	Mg	Na	K	Fe	Mn	GWL
6642	77.10. 5	4427	6918	1	8.50	0.20	59.50	7.60	390.00	88.3000	21.8000	5.9000	4.2000	0.0500	0.0500	7
6643	77.10. 5	4176	6884	1	8.70	1.00	30.40	5.40	185.00	23.1600	5.7000	25.0000	4.5000	0.1800	0.1200	12
6644	77.10. 5	4172	6884	1	8.70	2.00	28.30	5.20	415.00	20.2000	4.8000	26.1000	5.1000	0.0500	0.0500	12
6645	77.10. 5	4170	6877	1	9.70	1.00	7.60	6.50	320.00	6.5600	2.4000	2.4000	3.9000	0.1600	0.0500	12
6646	77.10. 6	4093	6914	1	8.80	1.50	2.90	5.28	405.00	3.7000	1.1000	1.4100	1.4000	0.0500	0.0500	12
6647	77.10. 6	4257	6879	1	8.60	0.55	31.50	6.75	400.00	51.2000	10.2000	4.8000	3.4000	0.0500	0.0500	12
6648	77.10. 6	4164	6909	1	8.70	1.70	31.10	6.90	385.00	45.4000	11.8000	4.2000	2.5000	0.0500	0.0500	12
6649	77.10. 6	4192	6910	1	8.70	0.40	38.00	6.80	380.00	48.7000	104.0000	15.2000	2.6000	0.0500	0.0500	12
6650	77.10. 6	4332	6850	1	8.70	0.40	29.00	7.15	330.00	46.2000	8.9000	3.9000	3.1000	0.0500	0.0500	12
6651	77.10. 6	4325	6851	1	9.00	0.40	32.00	6.92	345.00	50.0000	12.1000	3.9000	3.0000	0.0500	0.0500	12
6652	77.10. 6	4321	6851	1	9.80	0.01	29.00	6.99	370.00	46.9000	9.5000	3.9000	3.2000	0.0500	0.0500	12
6653	77.10. 6	4313	6851	1	9.90	0.01	39.00	8.00	355.00	65.6000	12.8000	5.2000	3.8000	0.0500	0.0500	12
6654	77.10. 6	4310	6851	1	10.20	0.40	41.00	7.25	335.00	67.3000	14.9000	5.8000	4.0000	0.0500	0.0500	12
6655	77.10. 6	4294	6856	1	9.70	0.30	40.50	7.03	355.00	64.6000	12.2000	5.4000	3.5000	0.0500	0.0500	12
6656	77.10. 6	4252	6871	1	9.50	0.20	34.00	7.80	315.00	56.6000	10.4000	5.7000	3.8000	0.1600	0.0500	20
6657	77.10. 6	4433	7078	1	9.80	0.01	16.40	5.80	405.00	21.0000	5.1000	3.1000	3.6000	0.0500	0.0500	11
6658	77.11.21	4495	6872	2	9.10	0.01	16.40	6.60	295.00	19.0000	5.0000	1.5000	4.0000	0.0500	0.0500	11
6659	77.11.21	4490	6852	2	8.90	2.00	22.80	6.89	330.00	32.5000	3.8000	3.1000	3.0000	0.1600	0.0500	11
6660	77.11.21	4229	6400	1	8.40	1.00	76.00	5.52	355.00	25.4000	5.2000	112.0000	4.0000	0.0800	0.0500	12
6661	77.11.21	4754	6595	1	2.90	0.01	14.70	5.20	400.00	15.5000	4.7000	1.7000	1.6000	0.1500	0.2800	10 11
6662	78. 2. 1	5066	6571	1	1.90	2.10	38.00	7.95	315.00	78.5000	9.7000	8.1000	1.3000	0.0500	0.0500	7
6663	78. 2. 1	4996	6572	2	7.30	0.22	63.00	7.39	230.00	102.0000	33.0000	12.3000	11.6000	0.0500	0.0500	7
6664	78. 2. 1	4863	6481	1	5.40	0.50	9.10	3.50	485.00	6.0000	0.7000	1.4000	2.3000	0.2200	0.2100	7
6665	78. 2. 1	4791	6507	1	6.90	1.90	16.00	7.00	285.00	25.1000	3.9000	2.2000	5.1000	0.0500	0.0600	7
6666	78. 4. 2	4487	7033	1	7.30	0.70	17.50	3.30	590.00	7.4000	3.1000	5.4000	3.4000	0.1800	0.0800	11
6667	78. 4. 2	5117	7075	2	6.20	0.01	11.70	3.60	505.00	18.7000	2.6000	2.3000	1.3000	0.0800	0.3000	10
6668	78. 4.25	5068	6426	2	16.40	2.00	28.00	8.00	265.00	63.8000	7.7000	6.5000	4.3000	0.0500	0.0500	6
6669	78. 4.25	5104	7095	3	9.20	0.10	52.50	7.50	370.00	99.6000	23.1000	10.1000	5.2000	0.0500	0.0500	7
6670	78. 5.18	4318	6861	1	8.20	0.05	7.00	5.90	305.00	12.5000	0.0	2.0000	2.5000	0.0500	0.0500	12
6671	78. 5.19	4326	6857	1	8.00	0.08	8.50	6.50	260.00	16.6000	1.6000	2.4000	2.2000	0.0500	0.0500	12
6701	77.11.22	4363	5990	2	9.30	0.75	36.00	6.25	330.00	42.5000	8.3000	11.4000	7.5000	0.0500	0.0500	11
6702	77.11.22	4365	5981	2	8.80	0.60	42.20	5.84	340.00	54.0000	8.7000	7.3000	12.1000	0.0500	0.0500	11
6703	77.11.22	4545	5947	1	3.40	0.30	24.30	7.05	240.00	29.3000	11.4000	2.3000	2.6000	0.2800	0.0500	11
6704	77.11.22	4688	5931	1	4.50	1.10	23.70	7.85	215.00	37.7000	7.1000	1.6000	1.2000	0.1000	0.0700	10
6705	77.11.22	4723	5815	1	5.20	0.60	39.00	7.70	225.00	53.8000	11.2000	13.4000	1.8000	0.1000	0.0500	10
6706	77.11.22	4832	5940	2	10.00	2.70	20.80	7.80	315.00	27.4000	5.3000	1.9000	1.4000	0.0500	0.0500	10
6707	77.11.22	4878	5867	3	7.00	0.0	64.00	7.11	290.00	81.6000	25.3000	8.0000	11.6000	0.2500	0.0900	10
6708	77.11.22	4985	5899	3	9.40	0.0	91.00	6.75	225.00	91.4000	13.5000	41.0000	8.6000	0.1500	1.0000	10
6709	77.11.23	4605	5935	3	9.20	0.0	52.50	6.00	365.00	33.6000	8.8000	14.2000	35.1000	0.0500	0.0500	11
6710	77.11.23	4400	6250	3	9.00	0.0	19.20	5.25	400.00	30.1000	3.5000	2.5000	4.0000	0.1000	0.0500	12
6711	77.11.23	4518	6265	1	8.30	0.01	15.00	3.60	430.00	5.5000	3.2000	1.5000	3.3000	0.1000	0.0500	12
6712	77.11.23	4316	6212	3	9.10	0.0	7.40	5.15	375.00	7.5000	2.1000	1.4000	3.5000	0.0900	0.0500	12
6713	77.11.23	4279	6278	1	7.70	0.15	22.50	6.10	85.00	18.8000	3.8000	12.4000	10.2000	1.5000	0.1500	20
6714	77.11.23	4316	6281	3	7.90	0.0	18.60	5.85	290.00	19.5000	3.3000	7.4000	10.2000	0.1300	0.0500	12
6715	77.11.23	4244	6299	3	7.80	0.0	18.70	6.02	435.00	25.5000	2.4000	2.3000	3.3000	0.0700	0.0500	12
6716	77.11.23	4125	6287	3	8.00	0.0	7.20	5.95	375.00	7.0000	1.6000	1.3000	2.9000	0.0700	0.0500	12
6717	77.11.23	4229	6400	1	6.30	0.50	72.00	5.80	290.00	23.6000	4.2000	113.0000	4.1000	0.0800	0.0500	12
6718	77.11.23	4255	6541	1	6.50	2.00	9.00	4.00	380.00	6.1000	1.6000	1.6000	2.0000	0.1500	0.0500	12
6719	77.11.23	4256	6590	2	7.10	0.20	11.80	6.30	385.00	15.7000	2.5000	1.5000	2.8000	0.0500	0.0500	12
6720	77.12.20	4265	5464	1	7.70	0.25	53.00	7.96	230.00	104.6000	13.1000	5.7000	3.3000	0.0800	0.0500	10
6721	77.12.20	4249	5404	1	7.90	0.10	68.00	6.60	285.00	106.0000	14.0000	5.4000	16.0000	0.0500	0.0500	7
6722	77.12.20	4275	5391	2	9.00	3.50	72.00	7.35	275.00	104.0000	25.6000	4.2000	1.7000	0.0800	0.0500	7
6723	77.12.20	4264	5382	1	8.00	0.30	68.00	7.68	255.00	116.0000	17.9000	4.1000	1.9000	0.0800	0.0500	7
6724	77.12.21	4173	5417	1	8.10	0.05	33.00	7.70	275.00	45.7000	6.3000	3.1000	4.5000	0.0500	0.0500	10
6725	77.12.21	4251	5272	1	9.80	2.10	45.50	7.39	275.00	72.9000	11.4000	2.6000	2.5000	0.0500	0.0500	7
6726	77.12.21	4270	5233	1	9.00	0.70	64.00	7.36	250.00	77.8000	30.2000	3.5000	2.0000	0.0700	0.0500	7
6727	78. 2. 1	4838	6136	2	3.00	2.00	59.00	6.95	325.00	89.4000	12.0000	8.1000	9.1000	0.0500	0.1100	10
6728	78. 4.25	4870	6124	2	7.40	0.10	53.10	6.30	255.00	64.7000	22.5000	2.9000	3.1000	0.0500	0.1500	10
6729	78. 4.25	4729	6026	1	7.40	0.01	15.20	5.40	360.00	20.0000	3.0000	2.8000	2.7000	0.1600	0.0500	11
6730	78. 4.25	4620	6026	1	8.00	0.01	61.00	7.10	270.00	35.7000	27.4000	4.3000	3.1000	0.0500	0.0500	10
6731	78. 4.26	4817	6012	1	7.40	0.01	54.50	7.10	380.00	74.0000	15.4000	2.6000	1.3000	0.0500	0.0500	10
6732	78. 4.27	4738	5600	1	6.70	0.01	30.00	6.80	365.00	31.3000	13.2000	2.5000	1.6000	0.0500	0.0500	10
6733	78. 4.27	4605	5460	1	7.00	0.01	47.20	6.95	355.00	68.5000	10.4000	4.7000	4.7000	0.0600	0.0500	6
6734	78. 4.27	4613	5445	2	8.10	0.60	84.50	7.00	345.00	129.0000	19.9000	6.5000	2.4000	0.0500	0.0500	6
6735	78. 4.27	4570	5562	1	9.00	0.01	15.10	3.50	505.00	13.6000	7.6000	2.4000	1.6000	0.0500	1.0000	10

Lf. Nr.	3	4	Cl	NO_3	NH_4	PO_4	F	SiO_2	zug. CO_2	S.I.	Ges.-H.	Karb.-Härte	Kat.	An
6642	297.0000	42.0000	21.5000	12.2000	0.0600	0.0700	0.1400	9.5000	18.4256	-0.1475	17.4000	13.6000	6.5800	6.5400
6643	7.4000	24.0000	75.6000	1.2000	0.0500	0.0500	0.1000	7.8000	0.0035	-0.2741	4.5000	3.1000	2.8400	2.7700
6644	7.4000	15.0000	76.6000	2.3000	0.1000	0.1100	0.1000	6.7000	0.0035	-0.5017	3.9000	3.4000	2.6600	2.6500
6645	20.1000	15.0000	6.0000	1.0000	0.0500	0.3400	0.1000	7.3000	0.0173	-0.1365	6.7000	1.3000	0.7900	0.9600
6646	4.9000	5.0000	5.0000	0.5000	0.1200	0.4500	0.1000	6.0000	0.0003	-0.4420	0.8000	0.0	0.4000	0.3300
6647	146.0000	38.0000	15.8000	2.2000	0.0500	0.1900	0.1000	3.5000	2.8080	-1.2690	9.5000	6.7000	3.6800	3.6700
6648	142.0000	37.0000	15.5000	2.4000	0.0500	0.2900	0.1000	4.1000	2.5733	-1.1428	9.6000	6.5000	3.6800	3.5800
6649	122.0000	31.0000	48.0000	2.0000	0.0500	0.2100	0.1000	4.2000	1.6497	-1.2666	9.2000	5.6000	4.0200	4.0300
6650	134.0000	34.0000	13.0000	1.7000	0.0500	0.3600	0.1000	3.1000	2.1738	-0.9532	8.5000	6.2000	3.2900	3.3400
6651	143.0000	42.0000	12.0000	0.6000	0.0500	0.3600	0.1100	2.6000	2.6640	-1.1052	9.8000	6.5000	3.7500	3.5700
6652	128.0000	37.0000	14.0000	0.8000	0.0500	0.3200	0.1000	1.2000	2.0702	-1.0965	8.7000	5.9000	3.3700	3.2800
6653	178.0000	49.0000	19.5000	0.5000	0.0500	0.2500	0.1000	1.2000	5.4289	-0.2186	12.1000	8.2000	4.6660	4.5100
6654	189.0000	48.0000	19.9000	0.7000	0.0500	0.3400	0.1300	1.6000	6.3075	-0.4846	12.9000	8.7000	4.9400	4.6700
6655	174.0000	55.0000	19.5000	1.8000	0.2800	0.5300	0.1100	1.7000	5.0726	-0.7727	11.8000	8.0000	4.5600	4.5800
6656	156.0000	68.0000	19.2000	0.1000	0.0700	0.6000	0.1000	2.6000	3.5779	-0.1131	10.3000	7.2000	4.0200	4.5200
6657	37.2000	36.0000	6.1000	3.4000	0.0700	0.1100	0.1000	4.2000	0.0859	-3.1991	4.3000	1.7000	1.6900	1.6800
6658	97.6000	14.0000	4.8000	1.8000	0.1000	0.2900	0.1000	8.1000	0.5237	-2.0415	3.8000	4.5000	1.5300	2.0600
6659	103.7000	35.0000	10.0000	1.9000	0.0500	0.1200	0.1000	3.4000	0.9610	-1.4853	5.5000	4.8000	3.3600	2.7400
6660	18.9000	38.0000	192.0000	9.2000	0.1000	0.1000	0.1000	6.5000	0.0233	-3.6841	4.8000	0.9000	0.6700	0.6800
6661	3.8000	52.0000	8.0000	4.2000	0.0500	0.0500	0.1000	6.5000	0.0010	-5.1035	3.3000	0.2000	1.2700	1.4400
6662	162.0000	87.0000	18.0000	7.2000	0.1900	0.0500	0.1000	5.7000	34.4081	-0.0251	12.7000	7.4000	4.9000	5.1100
6663	329.0000	79.0000	36.5000	4.8000	0.2500	0.0500	0.1000	7.0000	24.0434	-0.0257	21.8000	15.1000	8.6400	8.8400
6664	0.0	27.0000	4.0000	0.2000	0.0900	0.0500	0.1600	7.8000	0.0	-5.9434	1.0000	0.0	0.4800	0.6700
6665	25.0000	60.0000	3.3000	0.3000	0.1300	0.0500	0.1600	9.9000	0.0409	-2.1634	4.4000	1.1000	1.8000	1.7600
6666	0.0	62.0000	17.6000	2.6000	0.5900	0.0500	0.2300	9.8000	0.0	-5.9967	1.7000	0.0	0.9400	1.8300
6667	0.0	62.0000	5.2000	1.3000	0.3900	0.2500	0.1800	7.9000	0.0	-5.3295	3.2000	0.0	1.2800	1.4300
6668	95.2000	60.0000	27.6000	1.7000	1.0300	0.0600	0.1700	2.1000	1.8507	-0.2967	10.7000	4.4000	4.2100	3.6200
6669	306.0000	63.0000	27.2000	4.8000	0.1100	0.0500	0.1400	7.9000	22.2350	-0.1762	19.3000	14.0000	7.4400	7.3100
6670	12.4000	18.0000	8.0000	1.7000	0.0500	0.4800	0.1000	6.1000	0.0062	-3.8745	1.7000	0.6000	0.6700	0.8500
6671	32.9000	17.0000	9.3000	2.6000	0.0500	0.4900	0.1000	5.1000	0.0521	-2.7310	2.6000	1.5000	1.0800	1.1900
6701	58.0000	45.0000	36.0000	36.5000	0.1200	0.0500	0.1000	5.0000	0.3362	-2.2393	7.8000	2.7000	3.4900	3.5000
6702	66.5000	59.0000	25.5000	66.0000	0.1600	0.0500	0.1000	2.0000	0.6199	-2.4950	9.6000	3.1000	4.0500	4.1000
6703	79.7000	48.0000	7.0000	1.3000	0.0500	0.0500	0.1000	4.2000	0.4024	-1.6239	6.7000	3.6000	2.6700	2.5100
6704	79.3000	49.0000	5.0000	1.6000	0.1100	0.0500	0.1000	2.4000	0.5452	-2.6879	6.9000	3.6000	2.5600	2.5000
6705	154.0000	54.0000	23.8000	0.3000	0.1100	0.0500	0.1300	4.4000	2.8483	-0.3965	10.0000	7.1000	4.2300	4.1300
6706	42.1000	49.0000	6.0000	3.1000	0.1100	0.0500	0.1000	4.1000	0.1410	-1.5157	5.1000	1.9000	1.9300	1.9400
6707	178.0000	51.0000	42.2000	83.0000	0.1000	0.0500	0.1000	7.6000	5.8360	-0.6402	17.2000	8.1000	6.4800	6.5100
6708	381.0000	86.0000	48.2000	15.6000	0.1200	0.1500	0.1100	18.0000	31.7832	-0.5472	15.9000	15.9000	9.6600	9.6600
6709	114.3000	36.0000	43.0000	71.0000	0.0500	0.5200	0.1000	6.7000	1.1828	-2.2913	4.3000	4.3000	5.0200	4.9800
6710	79.3000	23.3000	6.4000	3.7000	0.1200	0.0500	0.1000	6.4000	0.5347	-3.2864	5.0000	3.6000	2.0100	2.0200
6711	0.0	37.0000	5.2000	0.5000	0.2000	0.0500	0.1400	9.0000	0.0	-5.7915	1.5000	0.0	0.7100	0.9300
6712	18.3000	13.0000	5.2000	3.1000	0.0800	0.2500	0.1000	2.8000	0.0079	-4.6618	1.5000	0.8000	0.6900	0.7700
6713	58.0000	25.0000	25.6000	3.2000	0.0500	0.5600	0.1000	6.0000	0.1731	-2.4067	3.5000	2.7000	2.0000	2.2400
6714	35.4000	22.0000	10.6000	20.0000	0.0500	0.9500	0.1000	5.3000	0.0688	-3.2668	3.5000	1.6000	1.8200	1.6600
6715	55.5000	25.0000	12.2000	1.2000	0.0500	0.3000	0.1000	7.6000	0.2189	-2.7742	4.2000	2.5000	1.6700	1.7900
6716	13.4000	10.0000	7.0000	1.4000	0.0500	0.0500	0.1000	5.8000	0.0038	-4.3638	1.4000	0.6000	0.6300	0.6500
6717	15.3000	37.0000	190.0000	9.9000	0.1400	0.0500	0.1000	3.8000	0.0132	-3.5852	4.3000	0.7000	0.6600	0.5300
6718	0.0	21.0000	7.4000	0.1000	0.1200	0.0500	0.1700	7.2000	0.0	-5.4473	1.2000	0.0	0.5500	0.6600
6719	18.9000	33.0000	6.2000	0.1000	0.0500	0.0500	0.1900	5.5000	0.0155	-3.2043	2.9000	0.9000	1.1600	1.1700
6720	18.4000	86.0000	30.1000	74.0000	0.1400	0.0700	0.1600	6.4000	0.0824	-0.6694	17.6000	8.4000	6.6000	6.6800
6721	85.4000	90.0000	37.2000	161.0000	0.0500	0.3600	0.1000	8.9000	1.7963	-1.1483	18.0000	3.9000	7.0600	6.9700
6722	245.0000	52.0000	31.5000	99.0000	0.0600	0.0500	0.1500	6.8000	14.8198	-0.0997	21.4000	11.2000	7.5300	7.5900
6723	291.0000	39.0000	27.5000	69.0000	0.0500	0.0500	0.1200	6.5000	22.4710	-0.4210	20.3000	13.4000	7.4800	7.4800
6724	76.2000	69.0000	7.8000	13.0000	0.0500	0.0500	0.1000	3.9000	0.6810	-0.6699	7.8000	3.5000	3.0500	3.1200
6725	110.0000	40.0000	19.5000	93.0000	0.1200	0.1400	0.1000	2.9000	2.7194	-0.5684	12.8000	5.0000	4.7700	4.6800
6726	229.0000	42.0000	25.5000	85.0000	0.1300	0.1400	0.1000	5.8000	9.8835	-0.2456	17.8000	10.5000	6.6500	6.7100
6727	45.8000	40.0000	60.0000	175.0000	0.2700	0.0500	0.1000	4.7000	0.3783	-1.4797	15.3000	2.1000	6.0500	6.0900
6728	250.0000	45.0000	4.5000	2.2000	0.1000	0.0600	0.1200	6.6000	9.4451	-1.1954	14.2000	11.5000	5.2800	5.2100
6729	24.4000	42.0000	7.5000	2.2000	0.3100	0.0800	0.1000	6.7000	0.0325	-3.8710	3.5000	1.1000	1.4600	1.5300
6730	295.6000	44.0000	8.0000	2.6000	0.0600	0.2800	0.1300	1.6000	7.5069	-1.7602	13.5000	11.5000	6.4800	6.0200
6731	250.0000	54.0000	6.5000	1.8000	0.0400	0.0500	0.1000	6.3000	11.4619	-0.5118	14.6000	11.5000	5.3500	5.4400
6732	63.0000	80.6600	5.1000	2.6000	0.1500	0.1800	0.1200	3.7000	0.3030	-1.4434	7.6000	2.9000	2.8700	2.8900
6733	198.0000	39.0000	16.1000	4.2000	0.1300	0.3600	0.2800	4.5000	6.3222	-0.8462	12.0000	9.1000	4.6100	4.5600
6734	280.0000	125.0000	39.0000	7.9000	0.0800	0.0500	0.3500	5.7000	22.4536	-0.3139	22.6000	12.9000	8.3900	8.4200
6735	0.5000	59.0000	6.1000	1.3000	0.2300	0.0800	0.1300	6.3000	0.0000	-7.5698	3.7000	0.0	1.4500	1.4300

Nr.	Datum	r	h	A	T	l/s	LF	pH	Eh	Ca	Mg	Na	K	Fe	Mn	GWL			
6736	78. 4.27	4838	5356	3	9.70	0.0	133.00	7.25	140.00	110.0000	14.5000	35.6000	155.0000	1.7500	0.0500	6			
6737	78. 7.11	4969	5412	3	8.70	0.0	92.00	7.03	300.00	92.6000	11.9000	30.0000	86.0000	0.2400	0.0500	20			
6738	78. 7.11	4558	5464	2	9.70	1.40	84.50	6.96	370.00	135.0000	21.8000	7.6000	20.2000	0.0500	0.0500	7			
6739	78. 7.11	4471	5242	1	9.00	0.20	68.50	7.23	380.00	88.2000	13.2000	5.2000	5.8000	0.0500	0.0500	20			
6740	78. 7.11	4544	5186	3	9.20	0.0	179.00	6.84	350.00	200.0000	16.0000	102.0000	82.5000	0.0500	0.0500	7			
6741	78. 7.12	4547	5190	3	9.10	0.0	99.00	6.73	350.00	116.0000	12.3000	21.4000	86.0000	0.0500	0.0500	7			
6742	78. 7.12	4813	5187	3	9.30	0.0	97.00	6.92	360.00	127.0000	11.3000	16.0000	80.0000	0.0500	0.0500	6			
6743	78. 7.12	4558	5173	3	9.20	0.0	104.00	7.19	380.00	151.0000	16.2000	29.8000	50.8000	0.0500	0.0500	6			
6744	78. 8.23	4277	5659	3	9.70	0.0	58.00	6.49	295.00	88.5000	12.1000	13.2000	6.6000	1.7600	0.0500	11			
6745	78. 8.23	4256	5579	3	10.10	0.0	57.00	6.69	345.00	81.1000	20.5000	9.3000	11.4000	0.0500	0.0500	11			
6746	78. 8.23	3993	5728	3	9.60	0.0	98.00	6.99	330.00	119.0000	19.8000	12.8000	110.8000	0.0500	0.0500	12			
6747	78. 8.23	4316	5870	3	9.50	0.0	67.00	6.84	345.00	62.0000	20.8000	14.1000	33.9000	0.0500	0.0500	11			
6748	78. 8.24	4119	5758	3	9.30	0.0	34.50	6.90	375.00	37.4000	10.3000	3.5000	14.5000	0.0500	0.0500	11			
6749	78. 8.24	4450	6077	3	9.40	0.0	40.50	6.74	325.00	49.8000	6.6000	6.1000	25.5000	0.0500	0.0500	11			
6750	78. 8.24	4585	6123	1	9.30	0.20	54.00	6.01	325.00	58.4000	16.9000	19.0000	24.7000	0.0500	0.0500	11			
1	77.11.22	3800	5960	3	10.10	0.75	21.40	7.60	0.0	27.1000	10.5000	0.8000	4.7000	0.1200	0.0500	14	15	16	
2	77.11.22	3803	5925	3	9.90	0.51	21.00	7.50	0.0	27.6000	9.8000	2.1000	6.4000	0.0900	0.0700	14	15	0	
3	77.11.22	3867	5890	3	9.90	0.74	19.70	7.30	0.0	27.2000	7.3000	1.8000	6.5000	0.0500	0.0500	14	15	16	
4	77.11.22	3912	5865	3	10.00	0.81	18.20	7.30	0.0	23.7000	6.7000	1.3000	5.5000	0.0500	0.0500	13	14	15	
5	77.11.22	3954	5835	3	9.70	1.32	16.20	6.60	0.0	22.7000	5.1000	1.2000	4.5000	0.0800	0.0500	13	14	15	
6	77.11.22	4021	5790	3	10.00	0.96	18.60	6.60	0.0	21.7000	5.6000	2.8000	4.8000	0.1200	0.0500	13	14	0	
7	77.11.22	4068	5810	3	10.00	2.13	11.60	6.10	0.0	13.4000	2.8000	1.3000	3.6000	0.0700	0.0500	13	14	0	
8	77.11.22	4100	5853	3	10.00	1.80	17.00	6.00	0.0	27.3000	2.9000	1.1000	3.7000	0.0500	0.0500	12	13	14	
9	77.11.22	4178	5815	3	9.90	1.03	11.00	6.10	0.0	13.9000	3.2000	1.0000	3.4000	0.0500	0.0500	13	14	0	
10	77.11.22	4139	5860	3	9.80	1.54	8.80	6.10	0.0	11.5000	2.6000	1.0000	2.9000	0.0500	0.0500	12	13	14	
11	77.11.22	4081	5895	3	10.10	0.89	6.20	6.30	0.0	6.1000	2.7000	1.1000	2.5000	0.0900	0.0500	12	13	14	
12	77.11.22	4085	5970	3	9.80	0.86	7.30	6.80	0.0	7.6000	1.7000	1.0000	3.1000	0.0600	0.0500	13	14	15	16
13	77.11.22	4070	6030	3	10.30	0.87	23.40	7.00	0.0	26.6000	13.8000	1.1000	4.2000	0.1000	0.0500	13	14	15	0
14	77.11.22	4097	6086	3	10.30	0.93	20.60	7.50	0.0	21.7000	14.3000	0.8000	3.3000	0.0500	0.0500	14	15	16	0
15	77.11.22	4070	6182	3	10.10	0.73	12.30	7.80	0.0	13.5000	5.4000	0.6000	2.6000	0.0500	0.0500	13	14	0	0
16	77.11.22	4050	6230	3	9.80	0.63	9.70	8.00	0.0	10.0000	4.1000	0.8000	2.2000	0.0600	0.0500	13	14	15	0
17	77.11.22	4030	6295	3	10.00	0.73	8.80	7.30	0.0	7.4000	4.8000	0.6000	2.2000	0.0500	0.0500	13	14	15	0
18	77.11.22	4024	6329	3	9.80	0.76	7.20	7.20	0.0	7.7000	1.9000	1.0000	2.5000	0.0600	0.0500	13	14	0	0
19	77.11.22	3990	6379	3	10.00	0.72	13.70	8.30	0.0	13.8000	7.7000	0.6000	2.5000	0.0500	0.0500	14	15	0	0
20	77.11.22	3918	6405	3	9.80	0.94	16.30	8.20	0.0	15.8000	10.3000	0.7000	2.6000	0.1500	0.0500	14	15	0	0
21	77. 7.17	4786	6617	3	10.80	0.37	9.20	5.80	355.00	12.9000	2.2000	0.9000	3.3000	0.0500	0.0500	14	0	0	0
22	77. 7.17	4366	6902	3	10.20	0.84	18.50	7.80	240.00	24.9000	13.1000	0.8000	3.5000	0.0500	0.0500	13	14	0	0
23	77. 7.17	4397	6943	3	10.30	0.83	14.80	6.50	175.00	20.4000	5.3000	0.8000	3.4000	0.0500	0.0500	13	14	0	0
24	77. 7.18	4730	7006	3	10.60	1.36	25.90	7.20	255.00	46.9000	13.1000	0.9000	3.9000	0.0500	0.0500	13	14	0	0
25	77. 7.18	4690	7038	3	11.00	1.23	26.70	6.60	250.00	38.8000	10.0000	0.8000	2.8000	0.0500	0.2000	12	13	14	0
26	77. 7.18	5237	6592	3	10.00	0.66	24.30	7.30	175.00	67.4000	10.6000	0.8000	3.0000	0.2100	0.1300	7	0	0	0
27	77. 7.18	5076	6598	3	10.90	0.77	23.10	6.70	260.00	48.8000	8.8000	0.7000	4.6000	0.0500	0.0500	11	12	13	0
28	77. 7.19	4900	6994	3	11.90	1.54	30.40	7.30	315.00	61.3000	9.9000	1.3000	3.9000	0.0500	0.0500	12	13	14	15
29	77. 7.19	4396	7175	3	9.00	0.80	14.00	6.90	370.00	20.8000	5.8000	2.0000	2.5000	1.3200	0.0500	12	13	0	0
30	77. 7.26	9203	6567	3	8.70	0.30	11.30	6.70	345.00	17.7000	4.8000	0.6000	2.2000	0.0500	0.0500	12	13	0	0
31	77. 7.26	4385	6574	3	9.00	0.20	8.30	5.20	365.00	3.4000	2.8000	0.8000	2.5000	0.0500	0.0500	12	0	0	0
32	77. 7.26	4744	6273	3	9.60	1.18	9.30	4.90	455.00	9.7000	3.8000	1.0000	3.7000	0.1200	0.0500	11	12	13	0
33	77. 7.27	5250	6329	3	13.20	0.68	10.60	5.90	375.00	17.0000	3.5000	0.6000	4.5000	0.2100	0.0500	11	12	13	14
34	77. 7.27	5271	6329	3	12.90	1.19	11.10	6.00	300.00	17.1000	4.6000	0.7000	4.7000	2.6300	0.0500	11	12	13	14
35	77. 7.27	4733	7215	3	9.80	0.60	10.90	5.30	370.00	12.5000	4.5000	1.0000	3.2000	0.4900	0.0500	13	0	0	0
36	77. 7.27	4000	6944	3	9.60	0.39	13.90	7.90	290.00	16.5000	10.8000	0.6000	3.4000	0.0500	0.0500	14	0	0	0
37	77. 7.27	3945	6780	3	9.80	0.75	17.20	6.75	245.00	21.1000	9.5000	0.6000	3.3000	0.0500	0.0500	13	14	15	0
38	77. 7.27	3905	6712	3	10.40	0.68	14.90	6.80	350.00	20.3000	6.0000	0.6000	2.0000	0.0500	0.1000	13	14	15	16
39	77. 7.27	4002	6681	3	11.50	0.16	17.00	7.70	345.00	18.8000	10.3000	0.6000	1.9000	0.0500	0.0500	14	15	16	0
40	77. 7.27	4016	7082	3	10.60	0.70	8.50	6.20	370.00	12.8000	4.6000	0.7000	2.0000	0.1300	0.0500	13	14	15	16
41	77. 7.28	4137	7155	3	9.00	0.31	16.90	6.10	240.00	9.0000	4.8000	1.3000	2.5000	20.0000	0.0500	12	13	14	0
42	77. 7.28	4532	5340	3	11.90	1.05	18.40	5.80	315.00	30.1000	7.4000	1.1000	2.4000	0.0500	0.0500	11	12	13	14
43	77. 7.28	4533	5340	3	12.30	0.45	23.60	5.90	305.00	42.1000	7.9000	1.2000	10.0000	0.4500	0.0500	11	12	13	14
44	77. 7.28	5100	5621	3	11.20	1.30	33.70	6.70	285.00	63.4000	17.3000	1.2000	14.4000	0.0500	0.0500	10	11	12	13
45	77. 7.28	5098	5589	3	10.20	1.39	27.30	6.30	340.00	47.5000	12.2000	1.0000	11.3000	0.1600	0.0500	7	10	11	12
46	77. 7.28	5181	5200	3	11.80	1.33	39.90	6.60	265.00	73.0000	15.1000	1.4000	13.6000	0.1000	0.0500	11	12	13	14
47	77. 7.28	5186	5223	3	12.10	1.21	33.20	6.70	255.00	64.8000	14.9000	1.3600	12.8000	0.0500	0.0500	11	12	13	14
48	77. 7.29	4581	5450	3	11.20	2.40	31.00	7.50	325.00	42.1000	15.4000	6.0000	6.6000	0.0500	0.0500	12	13	14	
49	77. 7.29	4479	5862	3	9.80	1.32	10.70	5.80	380.00	17.2000	4.5000	0.7000	3.4000	0.0500	0.0500	12	13	14	
50	77. 7.29	4462	5856	3	10.00	1.39	10.60	5.90	305.00	17.7000	5.2000	0.7000	2.9000	0.0500	0.0500	12	13	14	

Bezr. Nr.	Ca^{++}	SO_4	Cl	NO_3	NH_4	PO_4	F	SiO_2	zug. CO_2	S.I.	Ges.-Härte	Karb.-Härte	Kat	An
6736	470.0000	90.0000	69.2000	86.9000	0.0800	0.1700	0.2200	8.9000	57.3170	-0.1783	18.7000	21.6000	13.2600	12.9300
6737	270.0000	95.0000	42.8000	86.2000	0.1100	9.5000	0.1000	18.5000	15.9335	-0.4347	15.7000	12.4000	9.1500	9.5900
6738	370.0000	98.0000	43.0000	28.2000	0.1100	0.1800	0.1000	6.3000	44.0815	-0.1591	24.3000	17.0000	9.5400	9.7700
6739	275.0000	58.0000	40.8000	28.2000	0.1200	0.0500	0.1000	8.1000	15.7647	-0.2343	20.4000	12.6000	7.5000	7.3200
6740	400.0000	140.0000	247.0000	92.6000	0.3800	0.8500	0.1000	11.2000	69.0995	-0.3838	31.7000	18.4000	17.8200	17.9300
6741	247.0000	110.0000	64.4000	96.0000	0.1900	0.0800	0.1000	13.0000	16.6013	-0.6624	19.1000	11.3000	9.9200	9.7900
6742	383.0000	89.0000	63.7000	68.4000	0.1600	1.0800	0.1000	12.8000	43.4207	-0.2340	19.8000	17.6000	9.9900	10.0400
6743	384.0000	115.0000	74.4000	34.3000	0.2200	0.2300	0.1000	8.3000	50.4307	0.1152	24.9000	17.6000	11.2700	11.3400
6744	211.0000	37.0000	46.4000	45.6000	0.0600	0.3700	0.1000	9.0000	9.8992	-1.0867	15.8000	9.7000	6.4100	6.2900
6745	250.0000	34.0000	24.0000	22.4000	0.1800	0.0700	0.1000	8.4000	17.2798	-0.5698	16.1000	13.3000	6.4500	6.5100
6746	373.0000	110.0000	40.6000	89.4000	0.1200	3.3500	0.1000	27.6000	38.8658	-0.1922	21.2000	17.1000	11.0000	10.9900
6747	490.0000	126.0000	50.7000	73.5000	0.0900	0.2600	0.1000	8.9000	35.3764	-0.5730	13.5000	22.5000	6.2800	6.0900
6748	97.3000	23.0000	18.0000	42.7000	0.1200	0.0700	0.1000	9.9000	0.9697	-1.4242	7.6000	4.4000	3.2200	3.2700
6749	134.0000	26.0000	17.5000	47.0000	0.1600	2.9000	0.1300	12.8000	2.4115	-1.3173	8.5000	6.2000	3.9400	3.9900
6750	851.0000	29.0000	54.0000	94.9000	0.0800	0.1200	0.1000	3.2000	99.7863	-1.1238	10.7000	4.0000	5.2700	5.0600
1	135.0000	1.0000	4.8000	0.1000	0.1000	0.0500	0.2500	6.8000	1.4310	-0.7079	6.2000	6.2000	2.3600	2.3500
2	139.0000	3.0000	3.2000	0.1000	0.0500	0.0500	0.6000	6.5000	1.5127	-0.7905	6.1000	6.1000	2.4400	2.4300
3	129.0000	4.0000	4.0000	0.1000	0.0500	0.2500	0.6500	6.8000	1.3141	-1.0374	5.5000	5.5000	2.2100	2.3100
4	111.0000	5.0000	2.0000	0.4000	0.0500	0.3500	0.3600	7.8000	0.8636	-1.1656	4.8000	4.8000	1.9300	1.9400
5	82.4000	7.0000	3.8000	6.3000	0.0500	0.4900	0.1000	8.1000	0.4577	-2.0313	4.3000	3.8000	1.7200	1.7100
6	50.0000	14.0000	14.0000	14.0000	0.0500	0.6600	0.1000	8.1000	0.1628	-2.2577	4.3000	2.3000	1.7800	1.7200
7	45.7000	4.0000	7.6000	3.5000	0.0500	0.8300	0.1000	9.5000	0.0885	-1.9311	2.5000	2.1000	1.0500	1.1000
8	97.6000	2.0000	2.8000	3.2000	0.0500	1.2300	0.2100	7.2000	0.7788	-2.4767	4.5000	4.5000	1.7400	1.7800
9	58.6000	1.0000	3.4000	3.4000	0.0500	0.8200	0.1500	8.2000	0.1499	-2.9088	2.7000	2.7000	1.0900	1.1100
10	41.5000	1.0000	2.0000	4.7000	0.0500	1.0000	0.1700	9.0000	0.0634	-3.1567	2.2000	1.9000	0.8900	0.8400
11	27.4000	7.0000	4.6000	1.0000	0.0500	1.2700	0.1400	7.9000	0.0151	-3.4008	1.5000	1.3000	0.6400	0.7600
12	25.6000	6.0000	1.0000	0.5000	0.1300	0.7500	0.1500	8.2000	0.0163	-2.8551	1.5000	1.2000	0.6500	0.6000
13	153.0000	2.0000	2.8000	0.1000	0.0500	0.0500	0.2300	7.0000	1.7937	-1.2482	6.9000	7.0000	2.6300	2.6300
14	115.0000	5.0000	6.2000	7.4000	0.0500	0.2000	0.1000	9.7000	0.8182	-0.9637	6.3000	5.3000	2.3700	2.3900
15	64.1000	2.0000	4.0000	1.2000	0.0500	0.4500	0.1400	7.9000	0.1731	-1.1648	3.1000	2.9000	1.2100	1.2200
16	40.3000	4.0000	2.0000	1.4000	0.0500	0.3500	0.1000	6.9000	0.0516	-1.3189	2.4000	1.8000	0.9300	0.8200
17	42.7000	1.0000	3.2000	2.2000	0.0500	0.4200	0.1000	7.5000	0.0435	-2.1176	2.2000	2.0000	0.8600	0.8400
18	25.0000	6.0000	4.2000	0.6000	0.0500	0.5700	0.1300	8.7000	0.0157	-2.4553	1.5000	1.1000	0.6500	0.5700
19	84.2000	1.0000	2.4000	2.0000	0.0500	0.1800	0.1000	8.1000	0.2988	-2.5273	3.7000	3.9000	1.6100	1.4800
20	90.3000	2.0000	6.0000	0.5000	0.0500	0.0500	0.1100	8.2000	0.3827	-2.5331	4.6000	4.1000	1.7400	1.7000
21	31.5000	8.0000	5.0000	18.0000	0.0500	0.4100	0.1000	8.6000	0.0421	-3.4966	2.3000	1.4000	0.9500	1.1100
22	107.8000	30.0000	3.0000	6.0000	0.0500	0.1900	0.1000	8.0000	0.8285	-0.6287	6.5000	4.9000	2.4400	2.5800
23	93.3000	10.0000	3.5000	2.0000	0.0500	0.0700	0.1000	9.0000	0.5304	-2.0933	4.9000	4.3000	1.9100	1.8600
24	163.5000	22.0000	5.7000	3.0000	0.0500	0.2300	0.1000	9.0000	3.4978	-1.7575	9.6000	7.5000	3.5600	3.3500
25	143.4000	24.0000	4.1000	0.1000	0.0600	0.2700	0.1000	8.9000	2.3081	-1.4934	7.7000	6.6000	2.8700	2.9700
26	209.2000	26.0000	2.1000	0.1000	0.0500	0.1400	0.1000	7.6000	7.8311	-0.4057	11.7000	9.6000	4.2900	4.0200
27	141.8000	16.0000	5.7000	23.0000	0.0500	0.2600	0.1000	8.2000	2.8090	-1.1066	8.9000	6.5000	3.0100	3.0800
28	177.2000	26.0000	9.3000	30.0000	0.0500	0.3400	0.1000	5.0000	5.5375	-0.4740	10.9000	8.1000	4.0600	4.2000
29	19.8000	45.0000	16.7000	12.0000	0.1200	0.1400	0.1000	2.0000	0.0232	-2.3939	4.3000	0.9000	1.6700	1.8700
30	38.9000	9.0000	5.1000	6.0000	0.0500	0.5400	0.1000	5.0000	0.0789	-2.4350	2.6000	1.4000	1.3700	1.4000
31	9.1600	15.0000	4.2000	5.0000	0.1800	0.2300	0.1000	4.0000	0.0009	-5.2668	1.1000	0.4000	0.5000	0.6500
32	11.6000	16.0000	9.3000	16.0000	0.0500	0.2000	0.1000	7.0000	0.0041	-4.9731	2.2000	0.5000	1.1300	1.0400
33	61.0000	7.3000	4.3000	6.0000	0.0500	0.2700	0.1000	10.6000	0.2195	-2.9130	3.2000	2.8000	1.2900	1.1600
34	67.1000	7.0000	4.0000	6.0000	0.0500	0.1400	0.1000	9.1000	0.2623	-2.7705	3.4000	3.1000	1.4000	1.4600
35	12.3000	39.0000	4.5000	7.5000	0.0500	0.2400	0.1000	2.0000	0.0062	-4.3945	2.8000	0.6000	1.1100	1.2600
36	84.8000	64.0000	4.1000	6.0000	0.0500	0.2400	0.1000	7.4000	0.3333	-2.8217	4.8000	3.9000	1.7300	1.9000
37	91.6000	10.0000	8.1000	0.1000	0.0500	0.3500	0.2800	8.3000	0.5193	-1.8446	5.1000	4.2000	1.9100	1.9300
38	77.2000	10.0000	3.6000	0.1000	0.0500	0.2400	0.1000	9.1000	0.3691	-1.8871	4.2000	3.5000	1.5500	1.5800
39	90.0000	13.0000	4.5000	0.1000	0.0500	0.1900	0.1000	8.9000	0.4743	-1.9110	5.0000	4.1000	1.8400	1.8400
40	54.0000	12.0000	3.6000	0.1000	0.0500	1.2200	0.1000	7.5000	0.1185	-2.8476	2.9000	2.5000	1.1200	1.2300
41	15.9000	19.0000	19.5000	0.1000	0.0500	0.1400	0.1000	3.0000	0.0069	-3.6696	2.4000	0.7000	0.9700	1.1900
42	111.0000	24.0000	4.5000	0.1000	0.0500	0.2300	0.1000	7.0000	1.1410	-2.5918	5.9000	5.1000	2.3600	2.4500
43	147.0000	19.0000	4.3000	0.1000	0.0500	0.2000	0.1000	7.3000	2.7656	-2.1195	7.7000	6.7000	3.0600	2.9400
44	245.0000	39.0000	3.8000	0.6000	0.0500	0.2400	0.1100	7.6000	10.3685	-0.9198	12.9000	11.2000	5.0200	4.8000
45	181.0000	26.0000	4.5000	1.9000	0.0500	0.2700	0.1000	7.4000	4.2603	-1.6158	9.6000	8.3000	3.7000	3.6300
46	245.0000	41.0000	4.5000	2.0000	0.0500	0.2000	0.1400	6.2000	12.1011	-0.9449	13.7000	11.2000	5.2900	5.0600
47	235.0000	46.0000	3.5000	3.0000	0.0500	0.2600	0.1300	4.0000	10.7945	-1.8751	13.2000	10.7000	5.0200	4.9600
48	191.0000	16.0000	14.5000	3.0000	0.0500	0.1900	0.1600	7.5000	4.3603	-1.4160	9.4000	8.8000	3.8000	3.9300
49	66.2000	11.0000	4.1000	4.0000	0.0500	0.6800	0.1000	9.0000	0.2287	-3.3478	3.5000	1.4000	1.3500	1.5000
50	66.2000	7.0000	4.1000	4.0000	0.0500	0.6100	0.1000	9.0000	0.2370	-2.9312	3.6000	3.0000	1.4100	1.4200

Nr.	Datum	r	h	A	T	l/s	LF	pH	Eh	Ca	Mg	Na	K	Fe	Mn	GWL							
51	77. 7.29	4440	8830	3	10.10	1.31	12.20	5.90	385.00	21.2000	4.3000	0.8000	3.0000	0.0500	0.0500	12	13	14					
52	77. 7.27	4326	7211	3	10.10	0.62	17.50	5.30	370.00	31.3000	8.0000	1.1000	3.2000	1.3200	0.0500	11	12	0					
53	77. 7.26	4192	6565	3	9.80	0.20	8.10	5.10	400.00	5.8000	2.2000	0.9000	2.7000	0.0500	0.0500	20	0	0					
54	77. 7.26	4660	6421	3	9.80	0.20	67.00	5.90	265.00	70.2000	6.9000	100.0000	8.0000	0.0500	0.1500	20	0	0					
55	78. 2. 2	5058	6948	3	9.90	0.20	29.80	7.89	95.00	45.1000	8.6000	1.4000	1.4000	2.8000	0.0500	11	0	0					
80	77. 8.31	5002	7945	3	10.20	1.00	117.00	8.40	300.00	14.4000	21.0000	77.0000	46.8000	0.0800	0.1600	7	0	0					
81	77. 9. 1	4213	8330	3	9.20	2.00	82.90	6.90	380.00	53.1000	13.0000	57.5000	91.0000	0.0500	0.1700	20	0	0					
82	77. 9. 1	4436	8263	3	9.10	2.00	30.60	6.20	265.00	34.3000	7.1000	10.2000	15.2000	0.1000	0.0500	20	0	0					
83	77.12.20	4213	7143	3	8.60	1.26	17.60	5.82	360.00	19.0000	6.0000	9.2000	3.8000	0.1300	0.3300	13	14	0					
84	77.12.20	4227	7149	3	8.50	1.26	22.50	5.40	400.00	19.4000	4.5000	17.1000	4.9000	0.0500	0.3000	13	14	0					
85	77.12.20	4486	7146	3	9.20	1.72	10.50	6.40	180.00	14.0000	4.0000	1.5000	1.8000	6.9000	0.8200	12	13	14	15				
86	77.12.20	4487	7124	3	9.10	1.33	7.70	6.50	190.00	10.4000	3.5000	1.0000	1.7000	4.3000	0.6000	13	14	15	0				
87	78. 4. 5	4484	7169	3	9.40	1.49	9.50	6.40	300.00	14.4000	1.4000	1.7000	1.5000	14.0000	0.6500	13	14	15	16				
88	78. 8. 9	4428	7210	3	11.20	0.77	23.10	6.90	300.00	27.9000	11.7000	2.6000	4.1000	0.0500	0.7000	10	11	12	13	14			
89	77. 9. 1	4826	7247	3	11.40	0.85	35.00	6.80	310.00	48.0000	14.0000	3.0000	7.0000	0.0500	0.6600	11	12	13	14	0			
90	63. 4.29	4395	7617	3	9.20	1.00	24.30	7.00	0.0	33.6000	10.4000	2.8000	4.3000	1.8000	0.7000	12	13	14	15	16			
91	63. 4.19	4387	7538	3	10.10	0.71	31.00	7.20	0.0	32.2000	11.7000	3.4000	4.8000	0.0500	0.4000	16	17	0	0	0			
92	76. 4.29	4856	8125	3	12.80	0.33	45.00	7.30	0.0	67.7000	11.2000	7.1000	9.1000	0.0700	0.0500	11	12	13	0	0			
93	67. 3.20	4835	8131	3	12.80	0.30	38.00	7.40	0.0	48.0000	13.0000	7.1000	9.1000	0.0500	0.0500	12	13	0	0	0			
94	76. 4.29	4510	8132	3	11.70	0.48	25.90	7.20	0.0	72.2000	11.7000	7.3000	12.6000	0.1000	0.0500	10	11	12	13	0			
95	73. 7.27	4473	8354	3	11.30	0.69	34.00	7.50	0.0	42.7000	13.4000	9.2000	7.9000	0.0500	0.0500	13	14	15	16	0			
96	77. 5.31	4584	8455	3	11.30	4.08	36.00	7.79	0.0	35.0000	13.4000	10.0000	8.0000	0.0500	0.0500	12	13	14	0	0			
97	77.10. 8	4473	7095	3	10.70	0.60	15.00	6.95	315.00	16.4000	4.8000	4.1000	4.5000	0.1500	0.4300	13	14	15	16	17			
98	77. 8.24	4473	7095	3	11.00	0.50	8.00	7.30	290.00	10.9000	2.3000	1.4000	3.6000	0.1300	0.3800	11	12	13	14	0			
99	77. 8.31	4473	7095	3	11.50	0.39	10.00	6.38	270.00	13.3000	3.0000	1.7000	5.7000	0.2000	0.3300	11	12	13	14	15			
00	77. 9. 5	4473	7095	3	10.30	0.43	9.20	6.65	370.00	16.2000	2.8000	1.7000	5.1000	0.1500	0.1400	11	12	13	14	15	16		
01	77. 9.12	4473	7095	3	10.30	0.44	8.30	6.92	320.00	14.1000	3.5000	2.1000	5.6000	0.1500	0.1300	11	12	13	14	15	16	17	
02	77. 9.19	4473	7095	3	10.70	0.41	11.40	6.95	325.00	12.3000	5.1000	2.3000	4.4000	0.0500	0.3400	11	12	13	14	15	16	17	
03	76. 6.18	3864	5634	3	11.20	0.83	13.20	7.45	0.0	33.6000	12.1000	4.3000	8.7000	0.2000	0.2000	12	13	14	15	16	17		
04	76. 4. 2	4005	5882	3	10.50	0.47	25.50	7.23	0.0	32.5000	9.1000	4.1000	8.6000	0.0500	0.3000	12	13	14	15	16	17		
05	76. 9.16	4030	5713	3	10.50	1.22	18.30	7.36	0.0	24.3000	6.1000	1.2000	4.6000	0.0500	0.2200	12	13	14	15	16	17		
06	73.11. 7	5257	7358	3	11.00	0.42	31.50	7.36	265.00	47.8000	12.9000	1.3000	3.3000	0.0500	0.0500	11	12	13	14				
07	73. 3.26	5004	6669	3	15.00	0.67	48.00	7.50	200.00	71.4000	20.2000	3.7000	12.2000	1.5000	0.0600	11	12	13	0				
08	75. 9.29	5205	3472	3	18.40	0.80	46.80	7.38	0.0	75.8000	19.7000	6.0000	18.5000	0.3600	1.1900	7	10	11	12				
01	78. 4.22	5042	8244	1	6.70	0.10	74.00	7.00	245.00	183.0000	55.6000	6.4000	5.0000	2.1500	0.0500	4	0						
02	78. 4.23	4387	7535	1	5.50	0.01	17.90	5.20	195.00	23.5000	6.3000	3.4000	2.9000	6.7100	2.2800	11	0						
03	78. 4.24	4387	7535	1	7.80	0.01	16.10	5.60	225.00	23.4000	8.8000	3.5000	3.1000	4.6800	2.4800	11	0						
04	78. 4.24	4387	7535	1	6.50	0.01	16.50	5.25	225.00	25.7000	10.3000	3.8000	3.2000	7.2500	2.2600	11	0						
05	78. 4.24	4387	7535	1	5.70	0.01	17.00	4.86	240.00	24.4000	9.1000	4.0000	3.3000	5.3800	2.2200	11	0						
06	78. 4.22	5083	7026	1	7.20	0.20	33.00	7.30	310.00	86.3000	13.1000	3.1000	1.8000	6.3000	0.0500	7	0						
07	78. 4.22	5130	6813	1	6.40	0.12	41.50	6.92	195.00	108.0000	15.3000	3.4000	2.5000	7.5000	0.0500	7	0						
08	78. 4.22	4176	6984	1	6.80	0.01	20.50	5.50	290.00	20.4000	4.3000	24.4000	4.2000	6.5600	0.1600	12	0						
09	78. 4. 1	4484	7191	3	9.20	1.78	125.00	5.70	220.00	18.6000	5.4000	2.3000	1.9000	6.2500	0.6500	12	13						
10	78. 4. 1	4484	7191	3	9.60	1.78	100.00	5.50	155.00	17.5000	1.0000	1.6000	1.5000	15.5000	0.6900	13	0						
11	78. 4. 1	4484	7191	3	9.70	1.78	101.00	5.60	165.00	17.2000	3.0000	1.8000	1.5000	9.1000	0.6500	14	0						
12	78. 4. 1	4484	7191	3	9.90	1.78	106.00	5.70	250.00	17.7000	2.1000	1.6000	1.5000	8.9000	0.6800	15	0						
56	77.10. 7	4262	6977	3	8.50	0.74	21.50	5.72	400.00	23.2000	7.2000	6.6000	6.6000	0.0500	0.0500	12	13						
57	77. 8.26	5238	7657	3	9.10	5.00	8.80	7.31	310.00	10.2000	0.7000	3.9000	1.7000	0.1300	0.0500	20							
58	77. 8.26	5238	7657	3	9.10	5.00	8.90	7.31	315.00	10.7000	0.9000	4.2000	2.0000	0.0900	0.0500	20							
59	77. 9.10	5156	7615	3	9.10	5.00	6.00	7.16	325.00	6.4000	0.6000	1.7000	1.8000	0.0500	0.0500	20							
60	77. 9. 1	5296	7606	3	9.40	5.00	30.20	7.70	351.00	48.8000	6.1000	3.1000	8.9000	0.0800	0.4100	20							
61	77. 9. 5	5100	7710	3	9.60	5.00	31.40	7.45	320.00	55.7000	10.7000	4.2000	6.1000	0.0500	0.3100	20							
79	77. 9.31	5024	7959	3	10.10	0.50	51.00	8.10	310.00	98.4000	7.4000	8.9000	4.7000	0.0500	0.0500	4							
62	76. 9. 1	5100	7710	3	9.60	5.00	25.00	7.42	0.0	44.0000	4.0000	3.4000	3.1000	0.0500	0.0500	20							
63	76. 8. 3	5100	7710	3	9.70	5.00	26.00	7.32	0.0	40.0000	4.0000	3.5000	3.2000	0.0500	0.0500	20							
64	76. 7. 6	5100	7710	3	9.70	5.00	24.00	7.40	0.0	44.0000	1.0000	2.7000	2.3000	0.0500	0.0600	20							
65	75.10.27	5100	7710	3	9.50	5.00	24.50	7.50	0.0	40.0000	4.0000	3.3000	2.9000	0.0500	0.0500	20							
66	75.12. 1	5100	7710	3	9.20	5.00	24.00	7.45	0.0	44.0000	2.0000	3.5000	3.2000	0.0500	0.0500	20							
67	76. 1.12	5100	7710	3	9.00	5.00	25.00	7.35	0.0	44.0000	5.0000	4.0000	3.1000	0.0500	0.0500	20							
68	76. 2. 2	5100	7710	3	9.20	5.00	26.50	7.25	0.0	49.0000	0.0	3.1000	3.0000	0.0500	0.0500	20							
69	76. 3. 9	5100	7710	3	9.00	5.00	24.50	7.20	0.0	48.0000	1.0000	3.3000	2.6000	0.0500	0.0500	20							
70	76. 4. 5	5100	7710	3	9.60	5.00	23.00	7.32	0.0	44.0000	1.0000	2.8000	2.5000	0.0500	0.0500	20							
71	76. 5. 4	5100	7710	3	9.20	5.00	23.50	7.42	0.0	44.0000	3.0000	3.2000	2.8000	0.0500	0.0500	20							
72	76. 6. 1	5100	7710	3	9.10	5.00	25.00	7.39	0.0	46.0000	3.0000	3.0000	2.7000	0.0500	0.0500	20							
73	76. 6. 9	3806	8207	3	8.10	6.40	45.00	7.62	0.0	72.0000	21.0000	9.0000	3.7000	3.9500	1.1900	20							

Dept. Nr.	NO_3	NH_4	Cl	NO_3	NH_4	PO_4	F	SiO_2	zug. CO_2	S.I.	Ges.-Härte	Karb.-Härte	Kat	An
51	65.6000	7.0000	4.8000	4.0000	0.0500	0.5100	0.1000	11.0000	0.2485	-2.0489	4.0000	3.1000	1.5300	1.4400
52	14.4000	84.0000	6.2000	4.0000	0.0500	0.2000	0.1400	3.0000	0.0181	-3.9794	6.2000	6.6000	2.3500	2.2200
53	9.6000	22.0000	9.0000	10.0000	0.1500	0.3500	0.1000	2.0000	0.0030	-4.4380	1.9000	0.5000	0.7800	1.0200
54	56.4000	64.0000	19.5000	50.0000	0.4300	0.1400	0.1000	3.0000	0.5929	-2.1699	11.2000	2.6000	8.5200	8.5500
55	153.0000	14.0000	10.0000	0.1000	0.3200	0.0500	0.1300	4.0000	2.9209	-0.1404	7.3000	7.0000	3.1600	3.0700
60	406.0000	99.0000	118.0000	86.9000	0.4900	0.4300	0.1000	6.9000	6.0063	0.3582	25.5000	16.9000	13.4700	13.4700
81	312.0000	107.0000	48.5000	14.3000	7.7000	1.6000	0.3500	0.0	12.6728	-0.7259	10.3000	10.3000	8.9000	8.9700
82	53.4000	55.0000	23.5000	26.0000	0.0600	0.5300	0.1000	0.0	0.2662	-2.4253	5.3000	2.5000	3.2600	3.1100
83	53.0000	19.0000	26.1000	14.5000	0.1800	0.0500	0.1100	6.1000	0.1508	-3.0966	4.0000	1.6000	1.9500	1.9400
84	23.4000	24.0000	48.1000	5.1000	0.0500	0.5400	0.1000	7.5000	0.0311	-3.8547	3.6000	1.1000	2.2100	2.3300
85	62.2000	8.0000	1.0000	0.1000	0.1100	0.2100	0.1000	9.1000	0.1637	-2.5875	3.6000	2.9000	1.2200	1.1900
86	43.4000	1.0000	2.0000	0.1000	0.1100	0.0900	0.1000	11.0000	0.0610	-2.7931	2.1000	2.0000	0.9300	0.9500
87	51.8000	4.0000	3.0000	3.1000	0.0500	0.7900	0.1000	8.0000	0.1201	-2.6689	2.3000	2.3000	0.9400	0.9300
88	134.2000	10.0000	5.0000	1.2000	0.0500	0.1300	0.1000	6.0000	1.4991	-1.3644	6.6000	6.2000	2.5700	2.5600
89	213.5000	17.0000	3.0000	1.0000	0.0500	0.1000	0.1000	6.2000	6.2250	-1.0067	10.0000	9.7000	3.8500	3.8500
90	152.5000	5.0000	6.0000	0.4000	0.0500	0.0500	0.1000	6.0000	2.1502	-1.1799	7.1000	7.0000	2.7600	2.7700
91	160.8000	4.0000	3.0000	0.1000	0.0500	0.2000	0.1100	6.0000	2.3643	-0.9499	7.2000	7.2000	2.8400	2.7200
92	197.7000	39.0000	10.0000	24.0000	0.0500	0.2300	0.1100	6.4000	7.7086	-0.3541	12.1000	9.1000	4.8400	4.7200
93	202.4000	15.0000	7.0000	19.0000	0.0500	0.2300	0.1100	8.0000	5.9028	-0.3979	9.8000	9.3000	4.0100	4.1400
94	219.0000	32.0000	17.0000	35.0000	0.0500	0.2400	0.1200	8.0000	9.6275	-0.4063	12.8000	10.1000	5.2100	5.3000
95	183.0000	25.0000	9.0000	2.0000	0.0500	0.1500	0.1400	8.0000	4.0846	-0.4276	9.0000	8.4000	3.8100	3.8100
96	183.0000	12.0000	8.0000	1.6000	0.0500	0.0500	0.2400	7.5000	3.4076	-0.2281	8.0000	8.0000	3.4900	3.5000
97	98.0000	3.0000	4.0000	0.5000	0.0500	0.0500	0.1400	7.5000	0.4920	-1.7211	3.4000	3.4000	1.5100	1.7800
98	42.3000	5.0000	3.7000	1.9000	0.2500	0.3900	0.2200	11.0000	0.0649	-1.9355	4.0000	1.9000	0.8900	0.8900
99	47.4000	10.0000	3.5000	1.9000	0.2500	0.3300	0.1100	9.0000	0.0992	-2.6957	2.5000	2.2000	1.1300	1.0900
100	52.8000	10.0000	7.0000	1.5000	0.0900	0.1300	0.1000	9.5000	0.1995	-2.2402	2.9000	2.9000	1.2400	1.3000
101	59.8000	8.0000	2.3000	1.7000	0.0500	0.1000	0.1000	10.0000	0.1590	-2.2552	2.8000	2.8000	1.2300	1.2200
102	61.8000	8.0000	2.7000	0.8000	0.0500	0.1900	0.1800	10.0000	0.1498	-2.2534	2.8000	2.9000	1.2400	1.2600
103	163.6000	17.0000	4.0000	2.0000	0.0500	0.4000	0.1000	6.0000	2.6262	-0.6474	7.5000	7.5000	3.0900	3.1800
104	146.9000	14.0000	3.5000	0.2000	0.0500	0.2000	0.1000	9.0000	2.0511	-0.9430	6.7000	6.7000	2.7900	2.7900
105	110.9000	2.0000	5.0000	0.1000	0.0500	0.3300	0.1800	5.0000	0.9018	-1.2848	4.8000	4.8000	1.8800	2.0000
106	192.2000	2.0000	5.3000	7.5000	0.0500	0.2000	0.1000	7.8000	5.0186	-0.5122	9.8000	8.8000	3.5800	3.4200
107	317.2000	24.0000	3.6000	1.0000	0.0500	0.2000	0.3000	8.3000	22.0475	0.1176	14.6000	14.6000	5.7000	5.8000
108	286.7000	67.0000	6.2000	0.4000	0.0500	0.1500	0.1000	9.9000	18.8482	-0.0153	15.8000	13.2000	6.1400	6.2700
301	359.0000	400.0000	10.3000	1.8000	0.2500	0.0800	0.1000	6.8000	45.1500	-0.0641	38.4000	16.4000	14.1100	14.5300
302	12.0000	90.0000	9.3000	2.6000	1.0400	0.0500	0.2300	1.2000	0.0083	-4.3240	4.8000	0.5000	1.9900	2.3800
303	16.9000	82.0000	9.7000	1.8000	0.8900	0.0500	0.1600	0.9000	0.0157	-3.7461	5.3000	0.7000	2.1900	2.3300
304	6.6000	90.0000	1.0000	3.1000	1.1500	0.0500	0.2300	1.1000	0.0028	-4.4728	5.9000	0.3000	2.4500	2.0700
305	6.0000	90.0000	9.5000	3.1000	0.8600	0.0700	0.2300	1.3000	0.0021	-4.9478	5.5000	0.3000	2.2700	2.3000
306	198.6000	95.0000	8.0000	7.0000	0.0600	0.1200	0.2100	6.1000	7.7156	-0.3777	15.1000	9.1000	5.5800	5.5700
307	326.0000	45.0000	11.8000	2.2000	0.2500	0.0500	0.3000	6.6000	24.9110	-0.4631	18.6000	14.9000	6.8700	6.6500
308	0.0	18.0000	75.2000	3.5000	0.1400	0.0600	0.1000	7.8000	0.0	-3.3591	3.9000	0.0	2.5300	2.5600
309	56.7000	14.0000	4.5000	1.0000	0.2300	0.1900	0.1000	1.1000	0.1763	-3.1943	3.8000	2.6000	1.5400	1.3500
310	64.0000	7.0000	3.5000	0.5000	0.1200	0.2700	0.1000	0.9000	0.2204	-3.3789	2.9000	2.9000	1.0600	1.3000
311	58.0000	9.0000	3.0000	0.5000	0.1200	0.6400	0.1000	0.9000	0.1772	-3.3187	3.1000	2.7000	1.2200	1.2200
312	58.0000	8.0000	3.0000	0.5000	0.1000	0.2700	0.1000	1.0000	0.1844	-3.2059	3.0000	2.7000	1.1700	1.2000
56	46.1000	36.0000	13.7000	12.7000	0.0500	0.7000	0.1000	7.6000	0.1484	-3.1486	5.1000	1.9000	2.2100	2.0700
57	20.0000	10.0000	16.5000	0.1000	0.6800	0.0500	0.1500	0.2000	0.0127	-2.3100	1.6000	0.9000	0.9700	1.0500
58	15.7000	9.0000	16.5000	0.1000	0.6700	0.0500	0.1500	0.3000	0.0082	-2.4170	1.7000	0.7000	1.0800	0.9600
59	23.6000	5.0000	2.5000	0.2000	0.2100	0.0500	0.1000	0.3000	0.0118	-2.6289	1.0000	1.1000	0.4900	0.5600
60	56.8000	43.0000	22.1000	46.2000	0.1800	0.0500	0.1000	2.8000	0.4282	-2.7440	8.2000	2.6000	3.3000	3.2100
61	170.5000	38.0000	11.4000	0.5000	3.3600	0.0500	0.1000	6.1000	4.2815	-0.4362	10.2000	7.8000	3.9900	4.1000
79	181.0000	63.0000	36.9000	31.8000	0.1000	0.3300	0.1000	7.1000	8.2148	-0.5083	15.5000	8.3000	6.6300	5.8300
62	108.9000	20.0000	17.0000	12.0000	0.0500	0.1200	0.1000	6.0000	1.4523	-0.7879	7.2000	5.0000	2.8000	2.8700
63	115.5000	20.0000	11.0000	10.0000	0.0500	0.1500	0.1000	6.0000	1.5015	-0.9019	7.6000	5.3000	2.9500	2.7800
64	108.9000	18.0000	14.0000	16.0000	0.0500	0.2000	0.1000	6.0300	1.4732	-0.8143	6.9000	5.0000	2.6400	2.8100
65	115.5000	20.0000	13.0000	16.0000	0.0500	0.1500	0.1000	6.0000	1.4893	-0.7764	7.6000	5.3000	2.9300	2.9300
66	115.5000	21.0000	13.0000	14.0000	0.0500	0.2000	0.1000	5.0000	1.6174	-0.7465	7.4000	5.3000	2.8800	2.9200
67	122.0000	23.0000	11.0000	15.0000	0.0500	0.2800	0.1000	6.0000	1.7739	-0.8821	7.5000	5.6000	2.9300	3.0100
68	108.9000	22.0000	11.0000	12.0000	0.0500	0.2000	0.1000	7.0000	1.6000	-0.9319	7.1000	5.0000	2.7500	2.7500
69	104.8000	25.0000	12.0000	14.0000	0.0500	0.1800	0.1000	10.0000	1.4320	-1.0028	7.4000	4.6000	2.8500	2.8000
70	104.8000	25.0000	14.0000	16.0000	0.0500	0.1900	0.1000	8.0000	1.3493	-0.9112	7.1000	4.6000	2.7500	2.8600
71	108.9000	26.0000	12.0000	12.0000	0.0500	0.1200	0.1000	6.0000	1.4325	-0.7990	7.2000	5.0000	2.7800	2.8500
72	115.5000	25.0000	12.0000	22.0000	0.0500	0.1900	0.1000	7.0000	1.7389	-0.7674	7.4000	5.3000	2.8400	3.1000
73	274.5000	40.0000	30.0000	20.0000	0.0600	0.1400	0.1000	8.0000	12.8465	0.0325	14.6000	12.6000	5.7000	6.5000

Nr.	Datum	r	h	A	T	l/s	LF	pH	Eh	Ca	Mg	Na	K	Fe	Mn	GWL				
74	0. 0. 0	3806	8207	3	9.00	6.40	42.00	7.46	0.0	68.0000	18.0000	8.0000	3.2000	0.2000	0.1000	20				
75	0. 0. 0	3806	8207	3	9.90	6.40	39.00	7.32	0.0	64.0000	16.0000	7.4000	2.7000	0.0500	0.0500	20				
76	0. 0. 0	3943	8208	3	8.50	6.40	44.50	7.60	0.0	72.0000	20.0000	9.3000	3.5000	0.5000	0.1000	20				
77	0. 0. 0	3943	8208	3	9.30	6.40	42.00	7.48	0.0	68.0000	17.0000	8.5000	3.2000	0.2000	0.1000	20				
78	0. 0. 0	3943	8208	3	9.90	6.40	35.00	7.33	0.0	64.0000	14.0000	7.9000	3.0000	0.0500	0.0500	20				
110	78. 4.21	4856	6925	3	10.50	1.14	12.50	7.30	225.00	27.0000	3.8000	1.2000	2.9000	0.0700	0.0200	12	13	14	15	16
111	78. 4.21	4856	6925	3	11.20	1.27	15.90	7.22	275.00	37.3000	6.1000	1.6000	3.5000	0.0500	0.0200	12	13	14	15	16
112	78. 4.22	4856	6925	3	11.40	1.27	15.80	7.28	285.00	36.2000	6.2000	1.4000	3.4000	0.0500	0.0300	12	13	14	15	16
113	78. 4.22	4856	6925	3	11.20	1.36	17.10	7.28	260.00	40.8000	13.1000	1.7000	3.3000	0.0500	0.0300	12	13	14	15	16
114	78. 4.23	4856	6925	3	11.40	1.39	17.60	7.12	285.00	41.0000	13.0000	1.4000	3.2000	0.0500	0.0300	12	13	14	15	16
115	78. 4.23	4856	6925	3	11.20	1.29	18.00	7.20	275.00	40.8000	13.1000	1.4000	3.1000	0.0500	0.0300	12	13	14	15	16
201	77.10. 3	5072	7021	2	9.10	3.80	55.00	7.20	395.00	59.0000	24.8000	5.7000	6.7000	0.0500	0.0500	7				
202	77.12.28	5072	7021	2	9.00	0.0.	56.00	7.20	395.00	100.0000	27.5000	7.1000	7.1000	0.0500	0.0500	7				
203	78. 1.15	5072	7021	2	9.00	0.0	56.00	7.10	395.00	98.2000	26.7000	6.0000	7.0000	0.0500	0.0500	7				
204	78. 2. 1	5072	7021	2	9.00	0.0	56.00	7.10	395.00	99.3000	27.8000	6.4000	7.0000	0.0500	0.0500	7				
205	78. 4. 1	5072	7021	2	8.70	0.0	56.00	7.10	395.00	108.0000	25.2000	6.1000	6.8000	0.0500	0.0500	7				
206	78. 6.16	5072	7021	2	8.30	0.0	56.00	7.06	400.00	108.0000	26.4000	6.0000	6.0000	0.0500	0.0500	7				
207	78. 7. 7	5072	7021	2	8.80	0.0	55.50	7.28	395.00	101.0000	27.8000	5.8000	6.0000	0.0500	0.0500	7				
208	78. 8.22	5072	7021	2	8.80	0.0	55.00	7.30	300.00	90.2000	24.0000	5.8000	6.5000	0.0500	0.0500	7				
209	78.10. 5	5072	7021	2	8.90	0.0	61.00	7.12	395.00	106.2000	25.5000	6.0000	6.6000	0.0500	0.0500	7				
221	77.10. 3	5070	7029	1	8.60	0.80	47.00	7.25	390.00	98.8000	18.6000	3.2000	2.7000	0.0500	0.0500	7				
222	77.12.28	5070	7029	1	8.10	0.0	46.00	7.25	390.00	86.0000	20.3000	3.0000	2.7000	0.0500	0.0500	7				
223	78. 1.15	5070	7029	1	7.00	0.0	46.00	7.25	390.00	80.6000	23.5000	3.0000	2.7000	0.0500	0.0500	7				
224	78. 2. 1	5070	7029	1	7.20	0.0	45.00	7.20	390.00	80.6000	23.8000	3.0000	2.7000	0.0500	0.0500	7				
225	78. 4. 1	5070	7029	1	7.30	0.0	44.00	7.25	390.00	89.8000	19.9000	3.2000	2.6000	0.0500	0.0500	7				
226	78. 6.16	5070	7029	1	8.80	0.0	53.50	7.28	385.00	87.1000	19.4000	4.3000	2.4000	0.0500	0.0500	7				
227	78. 7. 7	5070	7029	1	9.20	0.0	54.00	7.31	385.00	85.2000	20.5000	3.0000	2.3000	0.0500	0.0500	7				
228	78. 8.22	5070	7029	1	9.70	0.0	52.00	7.18	315.00	78.6000	27.1000	3.1000	2.4000	0.0500	0.0500	7				
229	78.10. 5	5070	7029	1	8.90	0.0	56.00	7.20	360.00	93.0000	19.5000	2.9000	2.2000	0.0500	0.0500	7				
401	77.11.23	4244	6299	3	8.80	0.0	18.70	6.02	435.00	25.4000	2.4000	2.3000	3.3000	0.0700	0.0500	12	13			
402	77.12.20	4244	6299	3	7.80	0.0	10.80	5.45	370.00	12.6000	2.7000	2.5000	3.3000	0.1500	0.0600	12	13			
403	78. 2. 1	4244	6299	3	8.20	0.0	9.80	5.28	385.00	12.2000	1.8000	2.4000	3.8000	0.1500	0.0500	12	13			
404	78. 3.10	4244	6299	3	8.40	0.0	11.60	5.01	370.00	13.5000	2.0000	4.0000	3.3000	0.0700	0.0600	12	13			
405	78. 4.13	4244	6299	3	8.40	0.0	13.60	5.52	360.00	14.8000	2.8000	5.4000	3.7000	0.2600	0.0600	12	13			
406	78. 5.18	4244	6299	3	8.40	0.0	15.40	5.65	370.00	13.7000	3.0000	6.2000	3.8000	0.0500	0.0500	12	13			
407	78. 6.23	4244	6299	3	8.70	0.0	15.00	5.81	390.00	14.0000	1.3000	4.7000	3.4000	0.0500	0.0500	12	13			
408	78. 7.21	4244	6299	3	8.70	0.0	14.10	5.60	385.00	13.6000	1.6000	4.3000	3.3000	0.0500	0.0500	12	13			
409	78. 8.22	4244	6299	3	8.70	0.0	13.40	5.72	380.00	14.0000	2.0000	4.1000	3.2000	0.0500	0.0500	12	13			
410	78.10. 5	4244	6299	3	8.90	0.0	10.20	5.60	375.00	10.0000	4.2000	3.0000	3.2000	0.0700	0.0500	12	13			
501	77.11.21	4229	6400	1	8.40	0.0	76.00	5.52	355.00	25.4000	5.2000	112.0000	4.0000	0.0800	0.0500	12				
502	77.11.23	4229	6400	1	8.40	0.0	72.00	5.80	290.00	23.6000	4.2000	113.0000	4.1000	0.0800	0.0500	12				
503	77.12.20	4229	6400	1	8.90	0.0	67.00	5.76	355.00	21.6000	4.6000	106.0000	4.0000	0.0500	0.0500	12				
504	78. 2. 1	4229	6400	1	8.10	0.0	58.00	5.89	290.00	23.2000	3.1000	92.2000	3.7000	0.0500	0.0500	12				
505	78. 3.10	4229	6400	1	7.40	0.0	59.50	5.61	350.00	26.0000	2.1000	93.0000	3.5000	0.0500	0.0500	12				
506	78. 4.13	4229	6400	1	8.30	0.0	55.50	5.70	340.00	20.1000	4.0000	91.5000	3.4000	0.0500	0.0500	12				
507	78. 5.18	4229	6400	1	8.70	0.0	40.90	5.90	340.00	20.9000	2.9000	86.5000	3.4000	0.0500	0.0500	12				
508	78. 6.23	4229	6400	1	9.40	0.0	62.50	5.60	310.00	21.6000	4.6000	92.0000	3.0000	0.0500	0.0500	12				
509	78. 7.21	4229	6400	1	10.10	0.0	60.50	5.72	340.00	20.0000	3.5000	89.0000	3.0000	0.0500	0.0500	12				
510	78. 8.22	4229	6400	1	10.40	0.0	58.00	5.90	335.00	21.2000	3.4000	84.0000	2.6000	0.0500	0.0500	12				
511	78.10. 5	4229	6400	1	9.80	0.0	54.00	5.80	330.00	20.0000	3.6000	83.0000	3.3000	0.0500	0.0500	12				

Bepr. Nr.	HCO_3	SO_4	Cl	NO_3	NH_4	PO_4	F	SiO_2	zug.-CO_2	S.I.	Ges.-Härte	Karb.-Härte	Kat	An
74	241.4000	33.0000	25.0000	14.0000	0.0500	0.0700	0.1000	5.0000	9.8928	-0.1892	13.9000	11.1000	5.1900	5.5800
75	230.3000	24.0000	20.0000	11.0000	0.0500	0.0500	0.1000	2.0000	8.8942	-0.1572	13.2000	10.6000	5.1000	5.0400
76	265.7998	38.0000	33.0000	18.0000	0.0600	0.1200	0.1000	7.0000	12.2578	-0.0082	14.6000	12.2000	5.7100	6.0700
77	240.0000	32.0000	28.0000	13.0000	0.0500	0.0700	0.1000	5.0000	9.8684	-0.1653	13.9000	11.0000	5.4200	5.3700
78	226.6000	24.0000	26.0000	11.0000	0.0500	0.0500	0.1000	2.0000	8.5457	-0.3966	13.2000	10.4000	5.1300	5.1200
110	104.0000	4.0000	3.7000	3.1000	0.0500	0.0800	0.1000	2.9000	0.8845	-1.1343	4.8000	4.8000	1.7800	1.8500
111	137.0000	4.0000	4.1000	2.2000	0.0500	0.2800	0.1000	4.1000	2.0962	-0.9224	6.6000	6.3000	2.5300	2.4100
112	146.0000	4.0000	3.6000	3.1000	0.0500	0.1300	0.1000	3.2000	2.3134	-0.8369	6.9000	6.0000	2.6300	2.5400
113	161.0000	4.0000	3.8000	2.9000	0.0500	0.1300	0.1000	4.5000	3.0754	-0.7166	7.3000	7.4000	2.7400	2.7900
114	156.0000	4.0000	4.0000	3.1000	0.0500	0.1800	0.1000	3.1000	2.9261	-0.9041	7.3000	7.2000	2.7300	2.7200
115	151.0000	4.0000	4.0000	3.1000	0.0500	0.1300	0.1000	4.0000	2.7114	-0.8459	7.3000	6.9000	2.7300	2.6300
201	311.0000	46.0000	28.0000	40.2000	0.0500	0.0500	0.1000	6.9000	22.8052	-0.1630	19.5000	14.3000	7.4000	7.5000
202	311.0000	59.0000	28.0000	33.5000	0.0500	0.0500	0.1000	6.9000	22.7815	-0.1582	20.3000	14.3000	7.7400	7.6600
203	312.0000	59.0000	27.9000	33.0000	0.0500	0.0500	0.1000	6.9000	22.5109	-0.2641	20.3000	14.3000	7.7000	7.6600
204	310.0000	58.0000	28.0000	33.5000	0.0500	0.0500	0.1000	6.7000	22.4886	-0.2627	20.3000	14.2000	7.7000	7.6100
205	320.0000	67.0000	30.6000	33.0000	0.0900	0.3300	0.1400	6.7000	25.6009	-0.2205	20.9000	14.7000	7.9100	8.0300
206	308.0000	70.0000	30.7000	33.0000	0.1300	0.0500	0.1400	4.6000	23.2999	-0.2861	21.7000	14.1000	7.8600	7.9000
207	310.0000	68.0000	29.8000	27.8000	0.1600	0.0500	0.1400	5.9000	22.6119	-0.0794	20.5000	14.2000	7.7600	7.7900
208	307.0000	61.0000	31.1000	27.8000	0.0600	0.0500	0.1400	5.9000	19.8521	-0.1108	20.4000	14.1000	7.6600	7.6200
209	308.0999	70.0000	30.3000	28.1000	0.1100	0.0500	0.1300	6.6000	23.5401	-0.2184	20.7000	14.1000	7.8200	7.8200
221	256.0000	49.0000	17.4000	40.2000	0.0500	0.0500	0.1000	7.1000	15.0863	-0.2284	17.1000	11.8000	6.5700	6.3600
222	260.0000	52.0000	17.1000	28.5000	0.0500	0.0500	0.1000	13.0000	13.6350	-0.2847	16.7000	11.9000	6.1600	6.2800
223	254.0000	51.0000	16.5000	29.5000	0.0500	0.0500	0.1000	8.0000	11.7262	-0.3503	15.9000	11.7000	6.1700	6.1700
224	255.0000	49.0000	17.2000	29.0000	0.0500	0.0500	0.1000	4.2000	11.9072	-0.3934	16.7000	11.6000	6.1800	6.1800
225	257.0000	55.0000	18.2000	30.4000	0.0500	0.0800	0.1400	3.3000	13.4633	-0.2917	17.2000	11.8000	6.3300	6.3600
226	250.0000	58.0000	18.4000	29.7000	0.0600	0.0500	0.1400	5.4000	13.0953	-0.2474	16.7000	11.5000	6.2000	6.3100
227	256.0000	49.0000	18.5000	27.2000	0.1400	0.0500	0.1400	10.1000	13.6615	-0.2765	16.6000	11.8000	6.1200	6.2300
228	259.0000	49.0000	20.1000	29.1000	0.0500	0.0500	0.1500	7.7000	13.0846	-0.3490	17.2000	11.9000	6.3200	6.3000
229	261.0999	58.0000	19.9000	27.8000	0.0500	0.0500	0.1500	6.2000	15.2099	-0.2784	17.5000	12.0000	6.4200	6.4900
401	55.5000	25.0000	6.1000	1.2000	0.1000	0.3000	0.1000	7.6000	0.2280	-2.7506	4.2000	2.5000	1.6700	1.7900
402	9.0000	18.0000	13.6000	0.1000	0.1000	0.0030	0.1000	6.4000	0.0030	-4.4680	2.4000	0.4000	1.0400	0.9200
403	9.0000	16.0000	15.2000	0.9000	0.1000	0.1400	0.1000	6.7000	0.0029	-4.4666	2.1000	0.4000	0.9600	0.9200
404	6.0000	24.0000	17.4000	3.1000	0.1000	0.1900	0.1000	6.6000	0.0014	-5.0332	2.3000	0.3000	1.0900	1.1400
405	6.1000	23.0000	26.1000	2.6000	0.2000	0.2300	0.1000	6.2000	0.0016	-4.4686	2.6000	0.3000	1.3000	1.3700
406	6.1000	35.0000	19.6000	1.3000	0.1700	0.1300	0.1000	6.1000	0.0015	-4.3653	2.7000	0.3000	1.3100	1.4000
407	6.1000	28.0000	17.1000	1.8000	0.1200	0.1500	0.1000	5.8000	0.0015	-4.2011	2.3000	0.3000	1.1000	1.1900
408	6.4000	32.0000	13.9000	1.8000	0.1700	0.0400	0.1000	6.2000	0.0017	-4.3998	2.3000	0.3000	1.0800	1.1800
409	6.2000	33.0000	12.1000	1.8000	0.0500	0.6600	0.1000	5.9000	0.0016	-4.2784	2.5000	0.3000	1.1600	1.1600
410	6.1000	35.0000	7.1000	1.2000	0.1700	0.1800	0.1000	5.9000	0.0011	-4.5414	2.4000	0.3000	1.0600	1.0500
501	18.9000	38.0000	192.0000	9.2000	0.1000	0.1000	0.1000	3.9000	0.0233	-3.6841	4.8000	0.9000	0.6700	0.6800
502	15.3000	37.0000	190.0000	9.9000	0.1400	0.0500	0.1000	4.0000	0.0143	-3.5295	4.3000	0.7000	0.5600	0.5300
503	20.1000	30.0000	181.0000	9.3000	0.1000	0.0700	0.1000	4.2000	0.0215	-3.5312	4.1000	0.9000	0.6100	0.6200
504	23.1000	26.0000	158.0000	9.1000	0.1100	0.0700	0.1000	4.9000	0.0300	-3.3377	4.0000	1.1000	0.5200	0.5300
505	18.6000	34.0000	158.0000	7.0000	0.1000	0.0700	0.1000	1.3000	0.0228	-3.6270	4.1000	0.9000	0.6000	0.5800
506	16.8000	34.0000	162.0000	5.3000	0.0600	0.0800	0.1000	3.3000	0.0149	-3.6667	3.7000	0.8000	0.4600	0.6400
507	9.8000	40.0000	143.0000	4.2000	0.0800	0.0700	0.1000	3.6000	0.0054	-3.6769	3.6000	0.5000	0.0800	0.0800
508	8.5000	38.0000	162.0000	3.5000	0.0700	0.0500	0.1000	4.5000	0.0042	-4.0012	4.1000	0.4000	0.5100	0.5600
509	9.1000	33.0000	153.0000	3.5000	0.0900	0.0500	0.1000	3.4000	0.0047	-3.8706	3.7000	0.4000	0.2700	0.2100
510	12.8000	31.0000	152.0000	4.4000	0.0700	0.0500	0.1000	3.8000	0.0099	-3.5105	3.8000	0.6000	0.5600	0.2100
511	9.1000	40.0000	140.2000	3.7000	0.0500	0.0800	0.1000	3.6000	0.0046	-3.7991	3.6000	0.4000	0.9900	0.0000

Bepr. Nr.	Datum	r	h	A	T	l/s	LF	pH	Eh	Ca	Mg	F_e	Mn	GWL		
1001	62.10.16.	4595	7750	3	9,6	0,21	-	6,40	255	21,4	4,8	2,60	0,90	12	13	
1002	74. 8.21.	4835	7856	3	-	1,90	-	7,72	185	24,4	4,6	0,05	0,05	11	12	
1003	74. 8.21.	4831	7842	3	-	1.39	--	7,34	195	-	-	0,16	0,14	12		
1004	38. 4.29.	4820	7860	3	-	-	-	-	-	58,8	8,2	-	-	20		
1005	61. 4. 4.	4092	8350	3	-	0,51	10	6,28	-	3,0	9,0	0,40	0,18	20		
1006	62. 6. 6.	4481	8369	3	12,5	0,55	-	7,25	235	41,5	10,4	0,05	0,21	12	13	14
1007	62. 6. 6.	4498	8364	3	11,0	1,26	-	7,30	-	38,6	12,1	0,05	0,75	13	14	15
1008	62. 6. 6.	4516	8395	3	11,2	1,00	-	7,30	-	65,8	16,5	0,05	0,24	20		
1009	38. 5.20.	4336	8194	3	-	1,76	-	8,00	-	68,0	8,7	0,05	-	13	14	
1010	59.11.25.	4416	8236	3	-	0,97	-	7,00	-	22,9	6,5	0,05	0,34	13	14	
1011	59. 7.31.	4448	8234	3	-	0,54	-	7,20	-	26,0	11,0	0,05	0,40	13	14	15
1012	59. 7.31.	4431	8210	3	-	0,27	-	6,80	-	21,0	10,0	0,05	0,70	13	14	
1013	63.10. 7.	4526	8151	3	-	0,55	-	7,40	-	64,5	20,2	0,05	0,60	13	14	15
1014	64. 3.11.	4577	8451	3	-	4,73	-	7,40	-	78,6	16,5	0,05	0,44	20		
1015	64. 3.11.	4578	8450	3	-	4,73	-	7,40	-	77,2	17,4	0,05	0,05	20		
1016	64. 3.20.	5049	5056	3	9,6	0,77	-	7,29	395	72,0	30,4	0,06	0,05	7		
1017	71. 2.19.	4290	8264	3	-	0,67	-	6,50	-	21,0	8,5	1,40	1,40	20	12	

Bepr. Nr.	HCO_3	SO_4	Cl	NO_3	NH_4	PO_4	F	SiO_2	zug.CO_2	S.I.	Ges. Härte	Karb. Härte	Kat	An
1001	103	16	7,8	0,1	0,05	0,05	0,10	6,8	0,6625	-2,1503	4,1	4,1	-	2,24
1002	120	25	4,0	7,8	0,05	0,05	0,10	6,8	0,7416	-0,9515	4,5	-	-	2,73
1003	151	14	4,0	-	0,05	0,20	0,10	-	-	-1,3270	6,7	6,7	-	-
1004	-	26	8,2	14,4	-	-	-	4,8	-	-8,6014	9,9	8,1	-	-
1005	18	26	4,3	0,1	-	-	-	1,4	0,0022	-4,1384	2,5	0,8	-	-
1006	190	16	7,0	0,1	0,05	0,07	0,14	-	4,5314	-0,6496	8,2	8,2	-	-
1007	178	12	6,0	0,1	0,05	-	-	-	3,5157	-0,6978	8,2	8,2	--	-
1008	207	44	1,7	25,0	0,05	-	-	-	7,7235	-0,3791	13,0	9,5	-	-
1009	146	10	7,0	-	0,05	-	-	-	2,8430	-0,1353	8,0	6,7	-	-
1010	90	14	15,0	7,0	0,05	-	-	-	0,3960	-1,8280	2,4	2,4	-	-
1011	128	9	7,0	2,0	0,05	0,20	-	6,0	0,8936	-1,4078	6,2	5,9	-	-
1012	95	9	4,0	2,0	0,05	0,20	-	6,0	0,4049	-2,0404	5,2	4,3	-	-
1013	195	10	23,4	2,0	0,05	-	-	-	4,6729	-0,6082	9,2	9,0	-	-
1014	222	35	14,0	36,0	0,05	-	-	-	7,1784	-0,4590	14,8	10,2	-	-
1015	256	42	16,0	16,0	0,05	-	-	-	9,3751	-0,4038	14,8	11,8	-	-
1016	278	46	11,6	23,0	0,05	-	-	-	13,7868	-0,2472	17,2	12,7	-	-
1017	109	7	4,0	2,0	0,05	-	-	-	0,5321	-2,2828	5,0	5,0	-	-

Na und K wurden nicht bestimmt

Lebenslauf

Name	Johann Robert Rietzler	
Geburtstag	30. Juli 1947	
Geburtsort	Lengenwang / Allgäu	
Eltern	Dr. Josef Rietzler, Reg.-Dir.	
	Ilse Rietzler, geb. Schubert, Hausfrau	
Schulen	1953 - 1957	Volksschule Lengenwang / Allgäu
	1957 - 1961	Oberrealschulen Füssen, Augsburg, Kaufbeuren
	1961 - 1965	Realschule Kaufbeuren
Lehre	1965 - 1968	Chemielaborantenlehre Fa. Hoechst AG, Bobingen
Studium	1968 - 1971	Ingenieurschulen Isny, Aalen
	Juni, Juli 1971	Ingenieurprüfung, Fachrichtung: Technische Chemie
	1971 - 1978	Ludwig Maximilian Universität München
	Juli 1973	Diplom - Geologen - Vorprüfung
	Febr. 1976	Diplom - Geologen - Hauptprüfung
	Juni 1976	Beginn einer hydrogeologischen Dissertation
Beruf	März 1979	Beschäftigung als Diplomgeologe bei der Energie- und Wasserversorgung AG, EWAG, Nürnberg
Heirat	24.5.1974	Margarethe Rietzler, geb. Immerz, MTA
Kind	6.6.1978	Katharina Elisabeth Rietzler

Meine akademischen Lehrer waren:

G. Angenheister, H.J. Autrum, J. Bodechtel, H. Bögel, R. Dehm, A. Faessler, V. Fahlbusch, O. Förtsch, W.-D. Grimm, H. Hagn, L. Happel, H.G. Huckenholz, H. Jagodzinski, O. Kandler, D.D. Klemm, A. Maucher, H. Moser, F. Neumaier, K.-E. Quentin, K. Schmidt, H. Schröcke, H. Soffel, G. Troll, F. Wilhelm